

OPTIMIZATION OF THE GLASS FACADE AND INTERIOR DESIGN FOR NATURAL LIGHTING IN TEACHING AND LEARNING ACTIVITIES INSIDE THE CLASSROOMS OF MUHAMMADIYAH UNIVERSITY, BANDUNG

¹Farrah Fahrany, ² Ir. Mimie Purnama, M.T.

¹ Student in the Undergraduate's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

² Senior lecturer in the Undergraduate's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

Abstract - Indonesia is located in a tropical climate that receives much natural light from the reflection of sunlight. This abundant natural light can be used as an illumination in buildings and can save energy, especially in educational buildings such as Muhammadiyah University, Bandung is a building with an educational function where the facade uses glass on its sides with a function of space in it, namely classrooms. The classroom at the Muhammadiyah University Bandung Building has two class unit models with differences in the design of openings, resulting in strong differences in natural light in the two classroom models, there are rooms covered by 2 large-dimensional glass openings facing East, West, North, South. And then there's a classroom with openings facing south where the dimension of the openings is quite small. This study will be conducted in the form of a building exhibiting evaluation, how the glass facade and classroom enclosing elements in buildings affect the quantity and quality of natural lighting. Simulation results will be examined and design optimizations will be performed on glass facades and classroom enclosing elements with various architectural element configurations. The method used is quantitative with an experimental-simulation approach. The model of the building will be created with the SketchUp application and will then be simulated by Velux Daylight Visualizer

3. Simulations were performed first to both existing classroom models. Results from the simulations show that there are problems in the quality and quantity of natural lighting in both classroom unit models that do not meet the standard. The design optimization of architectural elements is carried out to solve the problems of natural light quality including illumination and DF, and natural light quantities include lightness and glare contrast ratio. Class 1 units made furniture color modifications, opening modifications, light shelter additions, and incorporated all modifications. Class 2 units were glass modifications, furniture color modifications, and overall modifications. The optimization results show that the color modification of the fixing furniture has not reached the light quality standard and that the fixing has reached the light quantification standard of both classroom models. The modification of the opening dimension in the 1st class fixing unit has not reached the standard of light quality, and a slight fix to the fixing has not reached the standard of light quantification. The addition of light shelf to the class 1 unit model does not improve the quality of light and worsens to slightly improve the quantity of light. The glass modification in the 2nd class unit deteriorates the quality of light and does not improve the quantity of light. The incorporation of all modifications can improve the quality and quantity of light of both class unit models.

Keywords: quality, quantity of natural lighting, glass facade, design interior, classroom.

OPTIMASI DESAIN FASAD KACA DAN RUANG DALAM TERHADAP PENCAHAYAAN ALAMI PADA KEGIATAN BELAJAR MENGAJAR DI RUANG KELAS UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH, BANDUNG

¹Farrah Fahrany, ² Ir. Mimie Purnama, M.T.

¹ Corresponding Author: 6111801054@student.unpar.ac.id

¹Mahasiswa S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

²Dosen Pembimbing S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

Abstrak - Indonesia terletak di wilayah beriklim tropis yang menerima banyak cahaya alami dari pantulan cahaya matahari. Cahaya alami yang berlimpah ini dapat dimanfaatkan sebagai penerangan pada bangunan dan dapat menghemat energi, khususnya pada bangunan pendidikan seperti pada Universitas Muhammadiyah, Bandung merupakan bangunan dengan fungsi pendidikan dimana fasad nya menggunakan kaca pada sisi-sisinya dengan fungsi ruang di dalamnya yaitu ruang kelas. Ruang kelas pada Bangunan Universitas Muhammadiyah Bandung memiliki dua model unit kelas dengan perbedaan pada desain bukaan sehingga mengakibatkan perbedaan kuat cahaya alami dalam kedua model ruang kelas tersebut, terdapat ruangan yang dilingkupi oleh 2 bukaan kaca berdimensi cukup besar menghadap ke arah Timur, Barat, Utara, Selatan. Lalu terdapat ruang kelas dengan bukaan yang menghadap ke Selatan dimana dimensi bukaannya cukup kecil. Penelitian ini akan dilakukan kajian berupa evaluasi eksisting bangunan, bagaimana fasad kaca dan elemen pelingkup ruang kelas pada bangunan berpengaruh terhadap kuantitas dan kualitas pencahayaan alami. Hasil simulasi akan dikaji dan dilakukan optimasi desain terhadap fasad kaca dan elemen pelingkup ruang kelas dengan berbagai konfigurasi elemen arsitektural. Metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan pendekatan eksperimental-simulasi. Model dari bangunan akan dibuat dengan aplikasi SketchUp dan kemudian akan dilakukan simulasi oleh Velux Daylight Visualizer 3. Simulasi dilakukan pertama kepada kedua model ruang kelas eksisting. Hasil dari simulasi menunjukkan adanya permasalahan kualitas dan kuantitas cahaya alami pada kedua model unit ruang kelas yang tidak memenuhi standar. Optimasi desain berupa perubahan elemen arsitektural dilakukan untuk menyelesaikan masalah kualitas cahaya alami yang meliputi iluminasi dan DF, serta kuantitas cahaya alami meliputi pemerataan cahaya dan rasio kontras silau. Unit kelas 1 melakukan modifikasi warna perabot, modifikasi bukaan, penambahan light shelf, serta menggabungkan keseluruhan modifikasi. Unit kelas 2 dilakukan modifikasi kaca, modifikasi warna perabot, serta menggabungkan keseluruhan modifikasi. Hasil optimasi menunjukkan modifikasi warna perabot memperbaiki belum mencapai standar kualitas cahaya dan memperbaiki sudah mencapai standar kuantitas cahaya kedua model ruang kelas. Modifikasi dimensi bukaan pada unit kelas 1 memperbaiki belum mencapai standar kualitas cahaya, dan sedikit memperbaiki hingga memperbaiki belum mencapai standar kuantitas cahaya. Penambahan light shelf pada model unit kelas 1 tidak memperbaiki kualitas cahaya dan memperburuk hingga sedikit memperbaiki kuantitas cahaya. Modifikasi kaca pada unit kelas 2 memperburuk kualitas cahaya dan tidak memperbaiki kuantitas cahaya. Penggabungan keseluruhan modifikasi dapat memperbaiki permasalahan kualitas dan kuantitas cahaya kedua model unit kelas.

Kata Kunci: kualitas kuantitas pencahayaan alami, fasad kaca bangunan, ruang dalam, ruang kelas.

1. PENDAHULUAN

Letak Indonesia berada pada daerah beriklim tropis. Negara yang beriklim tropis menerima banyak cahaya alami dari pantulan cahaya matahari. Cahaya alami yang berlimpah ini dapat dimanfaatkan sebagai penerangan pada bangunan di pagi hingga sore hari. Hal ini dapat menghemat penggunaan cahaya buatan dan digantikan dengan pencahayaan alami dari matahari, sehingga bangunan-bangunan dapat beroperasi dengan baik dan memfasilitasi pengguna bangunan untuk beraktivitas didalamnya, khususnya bangunan pendidikan yang didalamnya melakukan kegiatan yang sangat memerlukan pencahayaan alami yang efektif dan optimal. Pada bangunan pendidikan, untuk mencapai proses belajar dan mengajar ditentukan oleh nyamannya pengguna yang beraktivitas di dalamnya. Untuk mencapai kenyamanan visual di suatu ruangan termasuk di dalam bangunan pendidikan, perlu dilakukan pendekatan secara desain, seperti melakukan pengoptimalan desain secara pasif agar bangunan lebih hemat energi dan tidak memberikan dampak buruk pada lingkungan. Upaya desain pasif yang dapat dilakukan diantaranya adalah merancang fasad bangunan sebagai awal masuk nya cahaya alami ke dalam bangunan. Selain sebagai perlindungan faktor iklim eksternal terhadap bangunan, merancang fasad bangunan harus memperhatikan juga perolehan pencahayaan alami yang terjadi pada ruang dalam bangunan. Dewasa ini banyak bangunan tinggi, termasuk bangunan pendidikan menggunakan bukaan bermaterial kaca yang menyelimuti seluruh sisi bangunan dengan tujuan unsur estetika pada fasad bangunan tanpa mempertimbangkan aspek-aspek lingkungan iklim tropis, serta sistem

pencahayaan alami meliputi kuantitas dan kualitasnya. Hal tersebut muncul permasalahan ketidaknyamanan dari cahaya yang masuk sehingga bangunan akan mengandalkan energi buatan dan tidak hemat energi. Dari fenomena tersebut maka dipilih bangunan pendidikan yang cukup tinggi dengan menggunakan fasad kaca di seluruh sisinya, yaitu Universitas Muhammadiyah, berlokasi di Jl. Soekarno Hatta No.752, Kota Bandung. Bangunan ini didalamnya memiliki ruang-ruang kelas yang dikelilingi oleh fasad kaca. Berdasarkan faktor-faktor pencahayaan alami yang akan berpengaruh pada kualitas dan kuantitas nya yaitu orientasi fasad bangunan yang menggunakan material kaca. Kondisi eksisting fasad bangunan Universitas Muhammadiyah Bandung menggunakan fasad bermaterial kaca *Clear Glass (Panasap Dark Blue)*. Ruang kelas pada bangunan Universitas Muhammadiyah Bandung memiliki dua model unit kelas dengan perbedaan pada desain bukaan nya. Terdapat ruang kelas yang memiliki bukaan di dua dinding dengan dimensi yang cukup besar yaitu bukaan dengan sistem *curtain wall* yang menyelimuti kedua sisi dinding pada ruangan yang menghadap ke sisi Timur, Barat, Selatan, dan Utara sehingga berpotensi terjadinya silau, serta terdapat ruang kelas yang hanya memiliki bukaan di satu dinding saja dan berdimensi cukup kecil menyebabkan kurangnya intensitas cahaya yang masuk ke dalam ruangan. Hal ini dapat mengakibatkan perbedaan kuat cahaya alami dalam setiap ruang kelas. Perencanaan ruang kelas dalam dengan memperhatikan sistem pencahayaan alami nya tentu saja harus memperhatikan pelingkup-pelingkup ruang nya yang akan mempengaruhi pemantulan cahaya dalam ruang.

2. KAJIAN TEORI

Pencahayaan alami merupakan pemanfaatan cahaya yang berasal dari benda penerang alam seperti matahari untuk menerangkan ruang dalam pada bangunan. Pencahayaan alami siang hari dapat dikatakan baik (SNI 03-2396- 2001). Terdapat faktor desain yang mempengaruhi pencahayaan alami, serta kualitas dan kuantitas pencahayaan alami, yaitu sebagai berikut.

2.1 Faktor Desain yang Mempengaruhi Pencahayaan Alami

Dalam mendesain pencahayaan alami, orientasi bangunan perlu diperhatikan, seperti arah cahaya matahari dari sisi timur dan tenggelam pada sisi barat harus menjadi pertimbangan dalam menentukan jalan masuknya cahaya dan perletakan bukaan. Penataan ruang dalam bangunan pun harus dipertimbangkan. Karena, setiap ruangan memiliki kebutuhan cahaya alami yang berbeda sesuai dengan fungsi dan kegiatan pada ruangan tersebut.

2.1.1 Bentuk Bangunan Terhadap Pencahayaan Alami

Bentuk geometri bangunan mempengaruhi pencahayaan alami di dalam bangunan. Bentuk bangunan akan membentuk zona-zona ruang yang menerima sebaran cahaya. Bentuk bangunan yang ramping dan lebar yang minim dapat membuat cahaya masuk melalui dua sisi bangunan sehingga mendapatkan cahaya yang memadai, dapat mengumpulkan cahaya, minim kontras cahaya, dan memberikan view. Terkait dengan fungsi pendidikan (perguruan tinggi) diperlukan pemerataan cahaya dan kuat cahaya yang sama untuk mendukung kegiatan pembelajaran yang dilakukan, sehingga tiap pelajar mendapatkan intensitas cahaya yang sama. Dengan bentuk bangunan yang ramping atau pipih, cahaya yang masuk lebih optimal, merata dan terhindari dari silau dan kontras.

2.1.2 Bentuk Ruangan

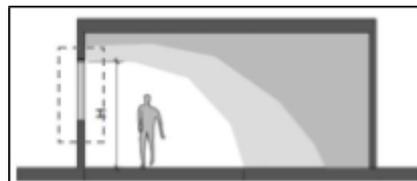
Kedalaman ruang berdampak langsung terhadap intensitas iluminasi cahaya alami dari bukaan samping. Ruang yang lebih dalam akan mendistribusikan cahaya yang masuk dengan kuantitas yang sama ke area yang lebih luas. Semakin berkurang juga cahaya yang masuk bila ruangan semakin dalam disebabkan adanya refleksi dan absorpsi cahaya dari material yang dilaluinya. Ketentuan untuk menentukan kedalaman ruang yaitu tidak lebih dari satu setengah kali sampai dua setengah kali dari tinggi elevasi ambang atas bukaan cahaya, sehingga cahaya dapat masuk jauh sampai ke kedalaman ruangan. Namun cahaya akan efektif bila masuk ke dalam ruangan hanya dua kali dari lebar bukaan dan sekitar dua setengah kali dari tinggi elevasi ambang atas bukaan.

2.1.3 Orientasi Bukaan Cahaya

Pencahayaan alami ruang dibuat berdasarkan orientasi jendela terhadap orientasi geografis dan garis edar matahari yang akan berpengaruh pada besaran kuat pencahayaan, tingkat kontras pencahayaan alami yang masuk ke dalam ruangan, dan radiasi panas matahari.

2.1.4 Jenis Bukaan Cahaya

Bukaan samping (*Side Lighting*) merupakan bukaan yang posisinya berada pada dinding bangunan untuk memasukkan cahaya alami secara horizontal menuju bidang kerja. Cahaya yang masuk dari samping tergantung pada posisi matahari, pantulan dari elemen permukaan di luar bangunan, posisi bukaan cahaya, dan hanya pada waktu-waktu tertentu. Pola distribusi berasal dari penetrasi cahaya melalui bukaan yang cenderung menyebabkan silau dari kuat cahaya yang tinggi yang dipengaruhi juga oleh bidang pantul ruangan.



Gambar 2.1 Jatuhnya Cahaya Pada Miopi dan Hipermetropi
Sumber: Ernest Orlando; *Tips for Daylighting*

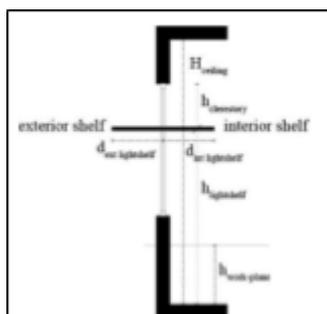
2.1.5 Dimensi Bukaan

Dimensi bukaan cahaya dapat mengontrol jumlah cahaya yang masuk ke dalam ruangan. Terdapat beberapa konfigurasi proporsi bukaan atau jendela untuk mengoptimalkan pencahayaan alami yang masuk ke dalam suatu bangunan, seperti 30% dari luas dinding, serta 90% dari luas dinding (Hausladen et al, 2006). Rasio jendela biasanya berhubungan dengan kenyamanan visual (silau) dan panas yang masuk ke dalam. Dari sumber lain juga menyatakan bahwa selubung bangunan nilai rata-rata WWR berkisar ($20% < WWR < 69%$) (Indri, 2020). Rasio bukaan/jendela tersebut disesuaikan dengan kebutuhan standar pencahayaan masing-masing ruang dengan fungsi dan kegiatan yang dilakukan di dalam ruangan tersebut.

2.1.6 Sistem Pengendalian Bukaan (Light Shelf)

Light shelf memberikan perlindungan dan pencahayaan tidak langsung untuk ruang dalam, meningkatkan masuknya jumlah cahaya matahari ke dalam ruangan. Light shelf

didesain untuk memantulkan cahaya matahari ke dalam ruangan dan menerangi plafon, di mana cahayanya menjadi pencahayaan tidak langsung terdifusi. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penggunaan *light shelf* meliputi posisi, bentuk, ukuran, kemiringan, dan bahan material *light shelf*. Littlefair (1995) melanjutkan penelitian sebelumnya yaitu mensimulasikan *light shelf*. Temuannya menunjukkan peningkatan pemerataan pencahayaan pada siang hari tetapi tanpa peningkatan pencahayaan yang signifikan di bagian belakang ruangan. Kedalaman interior (*d.int lightshelf*) harus sama dengan tinggi jendela clerestory di atasnya (*h.clerestory*), sedangkan kedalaman eksternal (*d.ext lightshelf*) harus lebih kecil dari perbedaan antara jarak ketinggian *light shelf* dari lantai (*h.lightshelf*) dan bidang kerja (*h.work-plane*). Refleksi *light shelf* atas harus setinggi mungkin.



Gambar 2.2 Light Shelf
Sumber: LittleFair (1995)

2.1.7 Material Bukaan

Material bukaan yang transparan berupa glazing atau kaca merupakan material bukaan yang paling umum digunakan untuk memasukan cahaya ke dalam ruang. Jenis - jenis kaca untuk bukaan, yaitu:

- Kaca Bening (*Clear Glass*)
- Kaca Ganda (*Double Glass*)
- Kaca *Tempered*
- Kaca Berwarna (*Tinted Glass*)

2.1.8 Bidang Pantul Permukaan

Bidang pantul yang melingkupi permukaan ruang dalam adalah dinding, plafon, lantai, dan perabot dalam ruang yang permukaannya memiliki tingkat reflektansi yang beragam. Cahaya matahari yang masuk dapat lebih merata dan jangkauannya lebih jauh jika mempertimbangkan tingkat reflektansi pada permukaannya.

- Warna dan Tekstur

Pada umumnya semakin muda warna pada permukaan bidang ruangan (dinding, lantai, plafon, perabot) atau mendekati warna putih, maka pencahayaan dalam ruangan semakin baik karena jumlah cahaya alami yang dipantulkan kembali dari bidang permukaan tersebut berjumlah banyak. Tekstur berhubungan dengan material yang akan diaplikasikan sebagai *finishing* bidang refleksi.

Optimization Of The Glass Facade and Interior Design for Natural Lighting in Teaching And Learning Activities Inside The Classrooms of Muhammadiyah University, Bandung

Tabel 2.1 Daya Pantul Warna
Sumber: Matahari, Angin, dan Cahaya, Strategi Perancangan Arsitektur, G.Z. Brown, 1990

Warna	Daya Pantul (%)
Putih	80-90%
Kuning Muda, <i>Rose</i>	80%
Beige Muda, <i>Lilac</i>	70%
Biru Muda, Hijau	70-75%
Kuning <i>Mustard</i>	35%
Coklat Sedang	25%
Biru, Hijau Sedang	20-30%
Hitam	10%

Tabel 2.2 Daya Pantul Tekstur Material
Sumber: *Mangunwijawa, 2000*

Bahan	Refleksi %	Penyebaran Cahaya	Pemantulan
Aluminium sangat mengkilau	80-85	-	+++
Aluminium buram	55-65	+++	-
Email putih	65-75	++	+
Gips putih buram	65-95	+++	-
Kertas putih buram	70-80	++	+
Kertas putih	70-80	+	++
Granit	20-25	+	-
Kayu mahoni dipoles	0-12	-	-
Bahan hitam	0-0.5	-	-
Beton kasar	20-30	+++	-

Catatan : Nilai-nilai tersebut diukur bila cahaya jatuh tegak lurus
- Sangat lemah
+ lemah
++ sedang
+++ kuat

2.2 Kualitas dan Kuantitas Pencahayaan Alami

Kualitas pencahayaan alami meliputi beberapa hal, yaitu:

2.2.1 Kualitas Pencahayaan Alami

- Kemerataan Cahaya

Kemerataan cahaya dapat dilihat dari *Uniformity Ratio* pada ruangan. Berikut adalah rumus menghitung *Uniformity Ratio*.

$$\text{Uniformity Ratio} = \frac{\text{Minimal illuminance}}{\text{Average illuminance}} \times 100\%$$

- Rasio Kontras

Rasio Kontras merupakan perbandingan antara kuat pencahayaan dari sumber cahaya dan *adjacent area* (area di sekitar bukaan dimana tempat pengguna berada). Standar perbandingan antara sumber cahaya : *adjacent area* maksimal sebesar 20 : 1.

- Rasio Silau

- Silau Langsung (*Direct Glare*)
- Silau Tidak Langsung (*Indirect Glare*)
- Silau yang Mengurangi Kenyamanan Visual (*Discomfort Glare*)
- Silau yang Membatasi Penglihatan (*disability glare*)
- Silau yang Membutakan (*blinding glare*)

Tabel 2.3 Acuan Penentuan Silau

Sumber : *Autodesk Design Academy dan Szokolay, 2004:138*

Rasio	Keterangan
≤ 1 : 10	Rekomendasi maksimum ketika melakukan tugas (standar nyaman)
1 : 11 - 1 : 20	Memicu discomfort glare sampai terjadinya discomfort glare
1 : 21 - 1 : 50	Memicu disability glare sampai terjadinya disability glare
> 1 : 50	Disability glare yang tinggi

2.2.2 Kuantitas Pencahayaan Alami

- Intensitas Cahaya

Intensitas cahaya merupakan banyaknya arus cahaya yang diterima oleh sebuah bidang atau satu satuan luas permukaan. Objek studi yang diteliti berfungsi sebagai kelas umum dimana dilakukan aktivitas seperti menulis, membaca, diskusi, dan mengajar.

Tabel 2.4 Standar Tingkat Pencahayaan pada Ruangan

Sumber : SNI 03-2396 (2001)

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (Lux = lx)
Ruang Kelas Biasa	250
Ruang Gambar	750
Perpustakaan	300
Bengkel Kayu / Besi	250
Ruang Kerja	350
Ruang Komputer	350
Ibadah	200

- *Daylight Factor*

Sumber : Atthailah, Iqbal & Situmeang.

Fungsi Ruang	Daylight Factor (DF= %)
Ruang Kelas Biasa	2,5
Ruang Kelas Khusus	4,5
Laboratorium	3,5
Bengkel Kayu / Besi	2,5
Ruang Olahraga	2,5
Kantor	3,5
Dapur	2,0

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimen. Penelitian diawali dengan simulasi kondisi eksisting bangunan yang dilengkapi dengan fasad bangunan dan ruang dalam yaitu ruang kelas pada Universitas Muhammadiyah Bandung, kemudian melakukan simulasi pencahayaan alami dan hasil simulasi tersebut dianalisis sesuai dengan teori yang ada. Pendekatan eksperimental-simulasi dilakukan untuk menentukan kondisi eksisting dan pencahayaan alami pada bangunan beserta permasalahannya.

3.1 Teknik Simulas

Tabel 3.1 Teknik Simulasi

Optimization Of The Glass Facade and Interior Design for Natural Lighting in Teaching And Learning Activities Inside The Classrooms of Muhammadiyah University, Bandung

No	Data	Teknik Pengumpulan
1	Gambar Kerja (Denah, Tampak, Potongan, Potongan Prinsip, Detail Fasad)	Pihak dari Universitas Muhammadiyah memberikan gambar kerja untuk proses penelitian.
2	Landasan Teori: - Orientasi Bangunan - Bentuk Bangunan - Bentuk Ruang - Rancangan Bukaan - Perencanaan Ruang Dalam - Bidang Pantul Permukaan - Kualitas dan Kuantitas Pencahayaan Alami	Teori berdasarkan studi literatur Jurnal, Penelitian, Buku, Artikel, dan Internet
3	Data pengukuran intensitas cahaya pada salah satu sampel ruang kelas eksisting Universitas Muhammadiyah Bandung	Mengukur intensitas cahaya alami menggunakan Luxmeter.
2	3D bangunan (<i>3D Modelling</i>) Objek Studi	Membuat 3D bangunan menggunakan Program Sketchup
4	Simulasi Pergerakan Matahari dalam 1 tahun	Menggunakan website <i>Sun Earth Tools</i> , fitur <i>Sun Position</i>
5	Simulasi <i>Daylight Factor</i>	Simulasi oleh program Velux Daylight Visualizer 3
6	Simulasi intensitas cahaya alami pada ruang kelas	Simulasi oleh program Velux Daylight Visualizer 3
7	Simulasi Kemerataan Cahaya matahari pada ruang kelas	Simulasi oleh program Velux Daylight Visualizer 3
8	Simulasi Rasio Kontras	Simulasi oleh program Velux Daylight Visualizer 3
9	Simulasi Rasio silau	Simulasi oleh program Velux Daylight Visualizer 3

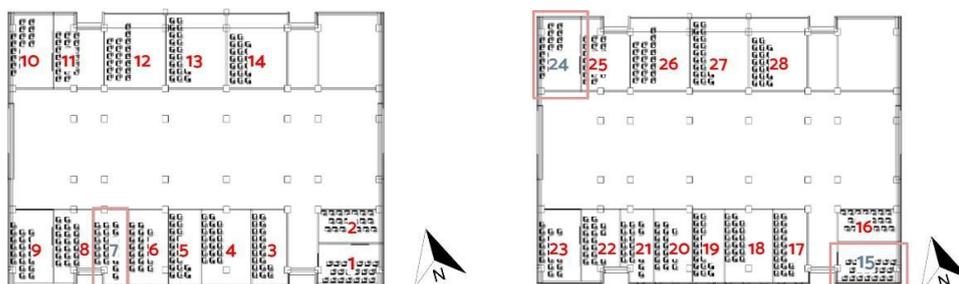
3.2 Penentuan Waktu Penelitian

Tabel 3.2 Waktu Penelitian

Bulan Waktu Simulasi	Jam Waktu Simulasi
21 Maret	09.00
	13.00
	15.00

3.3 Penentuan Sampel Ruang

Sampel yang diambil pada bangunan objek studi adalah fasad bangunan yang diambil hanya beberapa lantai. Untuk sampel pada fasad dipilih lantai 5 sampai dengan lantai 13 karena memiliki denah tipikal. Telah dilakukan simulasi juga untuk pemetaan daylight factor dan intensitas cahaya pada setiap lantai yang memiliki lantai tipikal yaitu pada lantai 5-13. Untuk lantai-lantai tipikal pada Universitas Muhammadiyah Bandung belum memenuhi standar DF. Terdapat lantai yang memiliki nilai DF dan intensitas cahaya tertinggi dan terendah. Dari hasil simulasi, dipilih dua lantai yang dijadikan sampel pada penelitian ini, yaitu lantai 5 dan lantai 9. Lantai 5 dipilih karena lantai dengan iluminasi paling rendah, Oleh karena itu, lantai 5 digunakan sebagai sampel untuk simulasi intensitas, dan pemerataan cahaya dalam ruangan. Lalu lantai 9 dijadikan sampel untuk simulasi silau dan kontras karena memiliki tingkat iluminasi tertinggi. Kemudian melakukan penentuan sampel ruang kelas dengan melakukan simulasi eksisting pada Lantai 5 dan Lantai 9. Lantai 5 dipilih ruang kelas yang memiliki DF dan Intensitas Cahaya terendah, sedangkan Lantai 9 dipilih ruang kelas yang memiliki DF dan Intensitas Cahaya tertinggi.



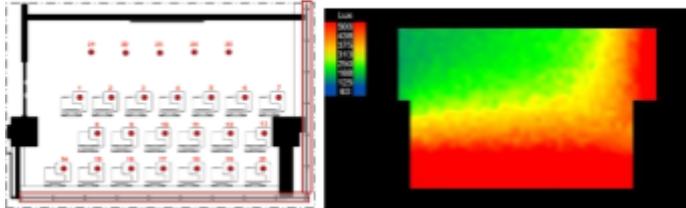
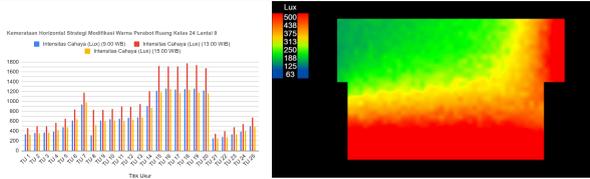
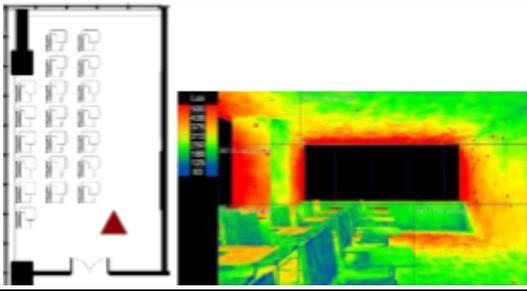
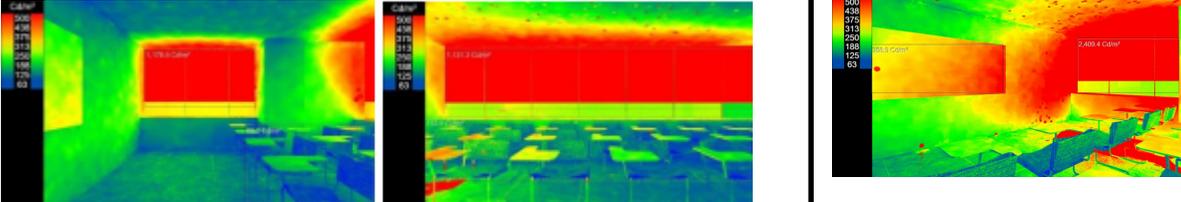
Gambar 3.1 Denah Lantai 5

Gambar 3.2 Denah Lantai 9

Pada Lantai 5 terlihat pada tabel bahwa ruang kelas 7 memiliki Intensitas Cahaya dan DF terendah dibandingkan dengan kelas-kelas lainnya. Pada lantai 9 Ruang kelas 15 dan 24 memiliki Intensitas Cahaya dan DF tertinggi dibandingkan dengan kelas-kelas lainnya.

3.4 Tahap Analisis Data

Tabel 3.3 Tahap Analisis Data

Kuantitas Pencahayaan Alami : Intensitas Pencahayaan Alami	
	
<p>Intensitas Cahaya diukur berdasarkan titik bidang kerja yaitu meja pada ruang kelas. Terdiri dari 25 titik ukur, 20 titik di setiap meja, dan 5 titik berada di depan papan tulis. Standar Intensitas Cahaya = 250 lux.</p>	
Kemerataan Cahaya (Horizontal)	Kemerataan Cahaya (Vertikal)
	
<p>Kemerataan horizontal dilihat dari grafik rata-rata intensitas cahaya, dan mengukur Uniformity Ratio pada ruang kelas. Standar Uniformity Ratio = 0.3</p>	<p>Kemerataan vertikal diambil dengan 1 tampak dalam software, dengan itu simulasi akan menghitung nilai lux dari sudut pandang vertikal. Standar Intensitas Cahaya = 250 lux.</p>
Rasio Kontras dan Silau	
	
<p>Rasio Kontras dan silau diukur dengan simulasi luminance pada software, dengan sudut pandang dari area masuk dan pengajar dikarenakan sumber cahaya pada ruang kelas 15 dan 24 terdiri dari 2 sisi bukaan yang menghadap ke area pintu masuk dan pengajar. sedangkan Ruang 7 hanya terdapat 1 bukaan</p>	<p>Terdapat juga sudut pandang dari area mahasiswa melihat ke arah papan tulis.</p>

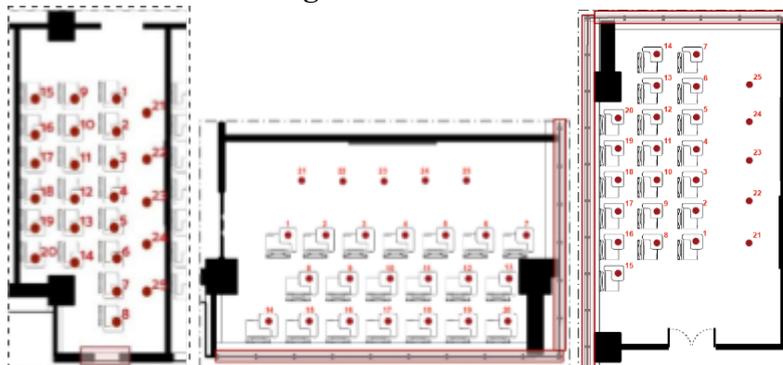
Optimization Of The Glass Facade and Interior Design for Natural Lighting in Teaching And Learning Activities Inside The Classrooms of Muhammadiyah University, Bandung

Ketentuan Rasio Kontras		Ketentuan Rasio Silau	
Memenuhi Standar		Warna	
Tidak Memenuhi Standar		≤ 1 : 10	Rekomendasi maksimum ketika melakukan tugas (standar nyaman)
Standar yang Direkomendasikan (Maksimal)		1 : 11 - 1 : 20	Memicu discomfort glare sampai terjadinya discomfort glare
Sumber Cahaya : <i>Adjacent Area</i>		1 : 21 - 1 : 50	Memicu disability glare sampai terjadinya disability glare
20 : 1		> 1 : 50	Disability glare yang tinggi

4. ANALISIS

Analisis dilakukan dengan mensimulasikan kondisi eksisting melalui software terkait dengan kualitas dan kuantitas pencahayaan alami, kemudian ditemukan kesimpulan simulasi beserta strategi modifikasi yang akan dilakukan.

4.1 Kesimpulan Kondisi Eksisting



Gambar 4.1 Denah Ruang kelas 7 Lantai 5, dan Ruang Kelas 15, 24 Lantai

9 Tabel 4.1 Kesimpulan Kondisi Eksisting dan Strategi Optimasi

Kondisi Eksisting	Strategi Optimasi
<p>Intensitas Cahaya alami pada Ruang kelas 7 Lantai 5 belum mencapai standar yang sudah ditentukan. Sehingga ruangan menjadi gelap.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Memodifikasi dimensi Bukaannya sesuai dengan standar luasan bukaan cahaya, dan Rule of Thumb - Menambahkan Light shelf pada bukaan supaya meningkatkan jumlah cahaya matahari yang masuk ke dalam ruangan.
<p>Kemerataan cahaya Horizontal dan Vertikal pada Ruang Kelas 7 Lantai 5 belum cukup merata dan tidak dapat meneruskan cahaya lebih mendalam di titik ujung pada kelas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Menambahkan Light shelf pada bukaan supaya cahaya dari luar dipantulkan pada langit-langit ruangan lalu menyebar merata di suatu ruangan.
<p>Rasio Kontras dan Silau terhadap papan tulis sudah memenuhi standar pada ruang 15 dan 24 lantai 9, tetapi sumber cahaya terhadap adjacent area masih bermasalah dan belum memenuhi standar yang sudah ditentukan, sehingga memicu terjadinya Disability Glare sampai terjadinya Disability Glare.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Memodifikasi Warna Dinding agar cahaya dapat dipantulkan dengan merata dan Warna perabot yang lebih terang (bidang kerja meja dan kursi, papan tulis) - Memodifikasi kaca supaya bisa mengurangi silau

4.2 Optimasi Desain Fasad Kaca dan Ruang Dalam pada Ruang Kelas Universitas Muhammadiyah Bandung.

4.2.1. Optimalisasi Desain Ruang Kelas 7 Lantai 5

1. Modifikasi 1 : Warna Perabot dan Warna Dinding

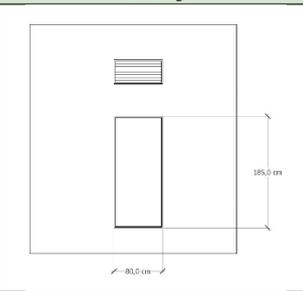
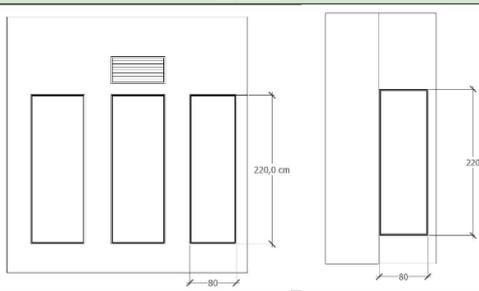
Modifikasi warna dinding dan warna perabot dilakukan pada ruang kelas 7 untuk meningkatkan iluminasi dan pemerataan cahaya di dalam ruang kelas. Oleh karena itu dipilih warna perabot dan dinding dengan daya pantul yang lebih besar

Tabel 4.2 Modifikasi Warna Perabot dan Warna Dinding

Eksisting	Modifikasi
Warna dinding Abu muda (70%)	Warna Putih (80-90%)
Warna Bangku menggunakan kain tekstur sedikit kasar berwarna biru tua Reflektansi 0-9%	Warna Bangku menggunakan karpet berwarna krem 10-12%
Meja menggunakan Material HPL tekstur Kayu berwarna gelap (Mahogany)dengan Reflektansi 12-20%	Meja menggunakan Material HPL berwarna putih doff dengan Reflektansi 70%

2. Modifikasi 2 : Dimensi Bukaannya

Modifikasi dimensi bukaan dilakukan pada ruang kelas 7 supaya cahaya yang masuk lebih banyak dan dapat diteruskan sampai ke dalam ruangan.

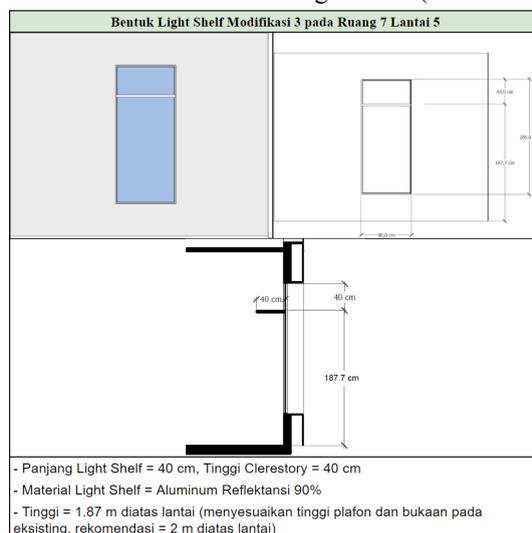
Eksisting	Modifikasi
	
<ul style="list-style-type: none"> - Floor to Floor = 3.80 m - Floor to Ceiling = 2.80 - Dimensi Bukaan = 0.8 x 1.85 m - Luas Bukaan = 1.48 m² - Luas Lantai Ruang = 41.65 m² - 1/5 Luas Lantai = 8.33 m² (belum memenuhi) - Rule of Thumb yaitu 2 x tinggi bukaan = 3.70 m (Kedalaman ruang kelas = 9 m belum memenuhi) - WWR = 12% (belum memenuhi rekomendasi 20%<WWR>69%) 	<ul style="list-style-type: none"> - Mengganti Dimensi Bukaan 0.8 x 2.20 = 1.76 m² (untuk 1 bukaan) - Menambah 2 bukaan pada dinding sisi kanan WWR = 42% (Rekomendasi 20%<WWR>69%) - Menambah 1 bukaan pada dinding sisi kiri (dekat dengan kolom) WWR = 54% (Rekomendasi 20%<WWR>69%) - Rule Of Thumb = 5.55 m (sudah maksimal dikarenakan tinggi plafon sebesar 2.80 m) - 1.76 m² x 4 = 7.04 m² (Mendekati aturan luas lantai)

Tabel 4.3 Modifikasi Dimensi Bukaan

3. Modifikasi 3 : **Menambahkan Light Shelf**

Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan intensitas cahaya yang masuk dan dapat dipantulkan dengan optimal.

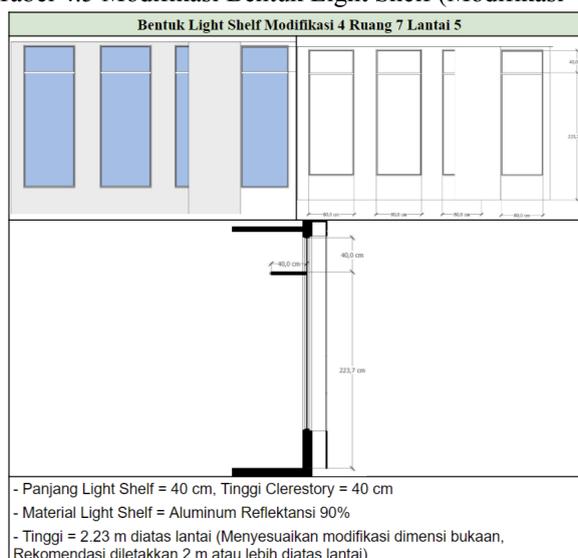
Tabel 4.4 Modifikasi Bentuk Light Shelf (Modifikasi 3)



4. Modifikasi 4 : **Modifikasi (Warna Perabot dan Dinding + Dimensi Bukaan + Light Shelf)**

Modifikasi ini menggabungkan antara modifikasi warna dinding dan perabot, dimensi bukaan, serta light shelf. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan desain fasad kaca dan ruang dalam yang dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas pencahayaan alami secara keseluruhan, meliputi kuantitas dan kualitas cahaya nya. Modifikasi dimensi bukaan dan light shelf untuk meningkatkan nilai iluminasi dan pemerataan cahaya serta *Uniformity Ratio*, modifikasi warna dinding dan warna perabot untuk meningkatkan pemerataan cahaya.

Tabel 4.5 Modifikasi Bentuk Light Shelf (Modifikasi 4)



4.2.2. Optimalisasi Desain Ruang Kelas 15 dan 24 Lantai 9

1. Modifikasi 1 : **Modifikasi Kaca**

Modifikasi kaca bertujuan untuk menurunkan intensitas cahaya yang masuk karena besar intensitas cahaya mencapai 1000 lux, dan berpotensi terjadinya *glare*.

Tabel 4.6 Modifikasi Kaca

Eksisting	Modifikasi
Kaca Panasap 8 mm Dark Blue + <i>Aluminium Curtain Wall System</i> (Transmisi Cahaya : 50%)	Kaca Panasap 8 mm Dark Blue + Film Kaca Jendela (Transmisi Cahaya : 45%)

2. Modifikasi 2 : **Warna Perabot dan Papan Tulis**

Modifikasi warna perabot dilakukan pada ruang kelas 15 dan 24 untuk menurunkan rasio kontras di dalam ruangan. Karena sumber cahaya pada bukaan masih terlalu besar dibandingkan dengan area pengguna pada simulasi eksisting, sehingga area pengguna perlu diganti dengan warna yang lebih cerah seperti bangku dan meja. Papan tulis diganti dengan warna putih dikarenakan pada simulasi eksisting pada rasio kontras dan silau masih ada di beberapa titik yang belum memenuhi standar (penyebab nya karena sumber cahaya di dekat papan tulis masih terlalu besar dibandingkan papan tulis, dapat menyebabkan terjadinya *glare*).

Tabel 4.7 Modifikasi Warna Perabot dan Papan Tulis

Eksisting	Modifikasi
Warna Bangku menggunakan kain tekstur sedikit kasar berwarna biru tua Reflektansi 0-9%	Warna Bangku menggunakan karpet berwarna krem 10-12%
Meja menggunakan Material HPL tekstur Kayu berwarna gelap (Mahogany)dengan Reflektansi 12-20%	Meja menggunakan Material HPL berwarna putih doff dengan Reflektansi 70%
Papan Tulis berwarna Biru Muda Tempered Glass dengan Reflektasi 70%	Papan Tulis berwarna Putih dengan Reflektasi 80%

3. Modifikasi 3: **Kaca + Warna Perabot dan Warna Papan Tulis**

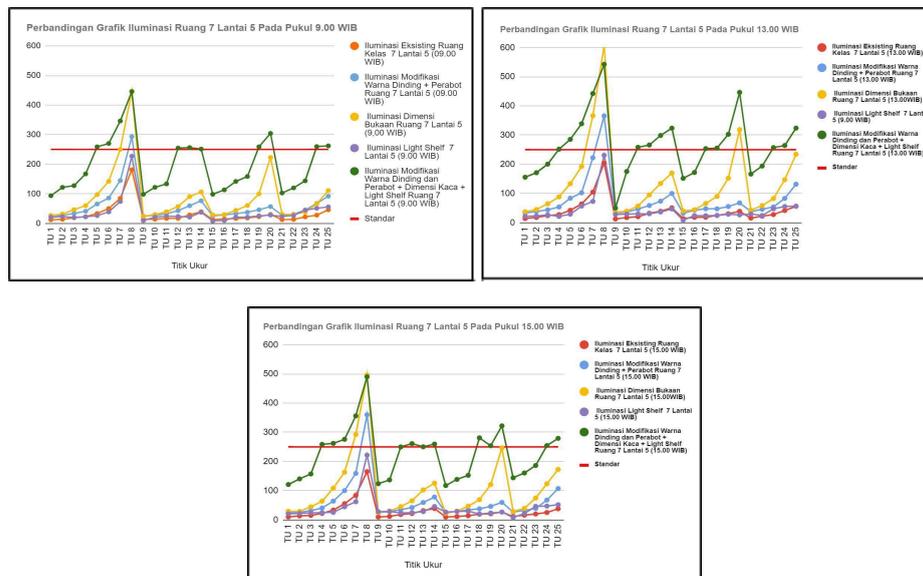
Modifikasi ini menggabungkan antara modifikasi kaca, dan warna perabot. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan desain fasad kaca dan ruang dalam yang dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas pencahayaan alami secara keseluruhan. Modifikasi kaca untuk menurunkan intensitas sehingga memperkecil kemungkinan terjadinya *glare*, serta memodifikasi warna perabot untuk menurunkan rasio kontras pada ruang kelas 15 dan 24.

4.3 Hasil Optimalisasi pada Ruang Kelas Universitas Muhammadiyah Bandung.

4.3.1. Hasil Perbandingan Simulasi Kelas 7 Lantai 5

1. Intensitas Cahaya

Pada ruang kelas ini, rasio iluminasi di beberapa titik tidak memenuhi standar yang ditetapkan yaitu 250 lux pada rata-rata intensitas di setiap waktunya. nilai rasio iluminasi tidak memungkinkan untuk memenuhi standar karena kedalaman ruang ini mencapai 9 meter dan hanya memiliki 1 sisi dinding yang dapat di dijadikan bukaan menghadap ke arah Selatan. Dinding tersebut berdimensi cukup kecil dengan ketinggian dan lebar yang terbatas. Terjadi peningkatan rasio iluminasi yang signifikan setelah dilakukan modifikasi terhadap dimensi kaca, light shelf, warna perabot dan dinding. Berikut merupakan grafik perbandingan modifikasi pada ruang 7 lantai 5 pada setiap waktu nya.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Seluruh Modifikasi Intensitas Cahaya Ruang 7 Lantai 5

Tabel 4.8 Perbandingan Seluruh Modifikasi *Daylight Factor* Ruang 7 Lantai 5

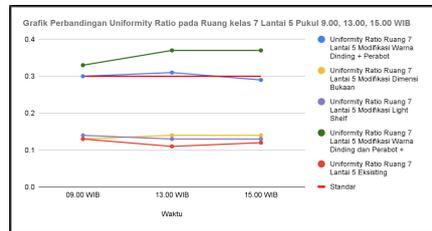
Tabel Perbandingan Daylight Factor Modifikasi Ruang 7 Lantai 5				
DF (%) Modifikasi Warna Perabot dan Dinding	DF (%) Modifikasi Dimensi Bukaan	DF (%) Penambahan Light Shelf	DF (%) Warna Perabot dan Dinding + Dimensi Bukaan + Light Shelf	Standar
0.24	0.82	0.29	1.5	2.5

2. Kemerataan Cahaya

Kemerataan Horizontal dapat ditentukan dengan *Uniformity Ratio*, bahwa modifikasi yang memiliki tingkat rasio diatas standar adalah modifikas 4 yaitu menggabung modifikasi keseluruhan. Hal ini dikarenakan cahaya yang masuk melalui bukaan jatuh pada light shelf dengan kuat cahaya yang cukup besar, dapat dipantulkan kepada plafon dengan optimal, sehingga cahaya disebarkan melalui pantulan dari plafon ke seluruh ruangan yaitu jatuh pada bidang dinding, bidang kerja, lantai yang memiliki tingkat refleksi sesuai standar yang sudah ditentukan. Modifikasi yang masih memiliki *Uniformity Ratio* yang masih dibawah standar

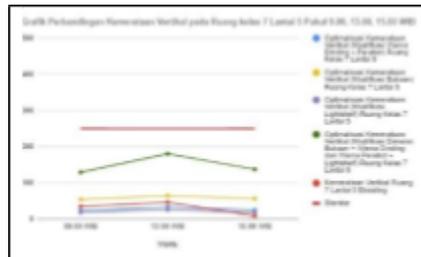
Optimization Of The Glass Facade and Interior Design for Natural Lighting in Teaching And Learning Activities Inside The Classrooms of Muhammadiyah University, Bandung

yaitu modifikasi 2 dan 3, memperbesar dimensi bukaan belum dapat menerangi bidang kerja yang berada di ujung ruangan, dikarenakan kedalaman ruang yang belum dapat memenuhi *rule of thumb* serta pemasangan light shelf pada bukaan yang memiliki dimensi cukup kecil sehingga besar cahaya yang masuk kecil sehingga cahaya yang dipantulkan pun kecil.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Seluruh Modifikasi *Uniformity Ratio* Ruang 7 Lantai 5

Untuk Kemerataan Vertikal dapat ditentukan dengan rata-rata lux nya, dilihat pada grafik perbandingan kemerataan vertikal kemerataan cahaya masih dibawah standar yaitu 250 lux, iluminasi pada bidang langit-langit, dinding, dan area bidang kerja masih belum bisa mencapai standar.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Seluruh Modifikasi Kemerataan Vertikal Ruang 7 Lantai 5

3. Rasio Kontras dan Silau

Tabel 4.9 Perbandingan Seluruh Modifikasi Rasio Kontras dan Silau Ruang 7

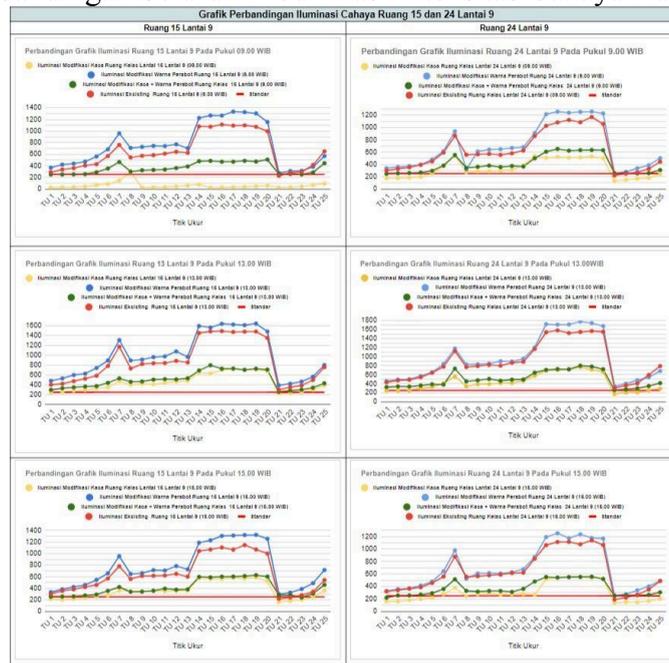
Hasil Optimasi Modifikasi 1 Warna Dinding dan Perabot Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 7 Lantai 5)				
Waktu	Rasio Kontras		Rasio Silau	
	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Selatan	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya Selatan
9.00 WIB	57 : 1	75 : 1	1 : 57	1 : 75
13.00 WIB	37.4 : 1	32.9 : 1	1 : 37.4	1 : 32.9
15.00 WIB	39.7 : 1	35.8 : 1	1 : 39.7	1 : 35.8
Hasil Optimasi Modifikasi 2 Dimensi Bukaan Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 7 Lantai 5)				
Waktu	Rasio Kontras		Rasio Silau	
	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Selatan	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya Selatan
9.00 WIB	44 : 1	69 : 1	1 : 44	1 : 69
13.00 WIB	40 : 1	79 : 1	1 : 40	1 : 79
15.00 WIB	35 : 1	56 : 1	1 : 35	1 : 56
Hasil Optimasi Modifikasi 3 Light Shelf Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 7 Lantai 5)				
Waktu	Rasio Kontras		Rasio Silau	
	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Selatan	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya Selatan
9.00 WIB	161 : 1	420 : 1	1 : 161	1 : 420
13.00 WIB	136 : 1	491 : 1	1 : 136	1 : 491
15.00 WIB	119 : 1	293 : 1	1 : 119	1 : 293
Hasil Optimasi Modifikasi 4 Dimensi Bukaan + Warna Dinding dan Perabot Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 7 Lantai 5)				
Waktu	Rasio Kontras		Rasio Silau	
	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Selatan	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya Selatan
9.00 WIB	9.62 : 1	10.6 : 1	1 : 9.62	1 : 10.6
13.00 WIB	6.6 : 1	6.22 : 1	1 : 6.6	1 : 6.22
15.00 WIB	6.7 : 1	6.8 : 1	1 : 6.7	1 : 6.8
Ketentuan Rasio Kontras		Ketentuan Rasio Silau		
Memenuhi Standar		Warna		
Tidak Memenuhi Standar		≤ 1 : 10	Rekomendasi maksimum ketika melakukan tugas (standar nyaman)	
Standar yang Direkomendasikan (Maksimal)		1 : 11 - 1 : 20	Memici discomfort glare sampai terjadinya discomfort glare	
Sumber Cahaya : Adjacent Area		1 : 21 - 1 : 50	Memici disability glare sampai terjadinya disability glare	
20 : 1		> 1 : 50	Disability glare yang tinggi	

Dapat dilihat pada tabel perbandingan bahwa optimasi yang paling optimal menurunkan rasio kontras dan silau pada ruang kelas 7 adalah modifikasi 4. Modifikasi 1,2, dan 3 tidak dapat menurunkan rasio kontras dan silau karena modifikasi-modifikasi tersebut perlu dikombinasi dengan modifikasi lainnya. Untuk modifikasi 1 terlihat pada tabel dapat menurunkan rasio kontras dan silau paling efektif dibandingkan dengan ketiga modifikasi lainnya.

4.3.2. Hasil Perbandingan Simulasi Kelas 15 dan 24 Lantai 9

1. Intensitas Cahaya

Tabel 4.10 Grafik Perbandingan Seluruh Modifikasi Intensitas Cahaya Ruang 15 dan 24 Lantai 9



Tabel 4.10 Perbandingan Seluruh Modifikasi Daylight Factor Ruang 15 dan 24 Lantai 9

Tabel Perbandingan Daylight Factor Modifikasi Ruang 15 dan 24 Lantai 9				
Ruang	DF (%) Modifikasi Modifikasi Kaca	DF (%) Modifikasi Warna Perabot dan Papan Tulis	DF (%) Modifikasi Kaca + Warna Perabot	Standar
Ruang 15	2.45	3.72	2.7	2.5
Ruang 24	2.39	3.84	2.66	2.5

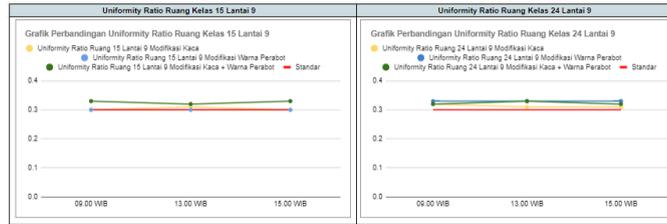
Dapat dilihat pada grafik perbandingan intensitas cahaya pada ruang kelas 15 dan 24 bahwa modifikasi ketiga yaitu penggabungan antara modifikasi 1 dan 2 yang paling mendekati standar intensitas cahaya, karena pada modifikasi ini sudah tidak adanya intensitas yang melebihi 1000 lux. Pada modifikasi 1 yaitu mengaplikasikan kaca film pada bukaan eksisting menurunkan kuat intensitas cahaya, sehingga ada di beberapa titik yang memiliki intensitas cahaya dibawah standar.

2. Kemerataan Cahaya

Kemerataan Horizontal dapat ditentukan dengan *Uniformity Ratio*, bahwa keseluruhan modifikasi yang memiliki tingkat rasio sesuai dengan standar. Intensitas cahaya pada ruangan cukup besar sehingga pantulan cahaya pada bidang-bidang di dalam ruangan disebarkan ke seluruh ruangan dengan baik.

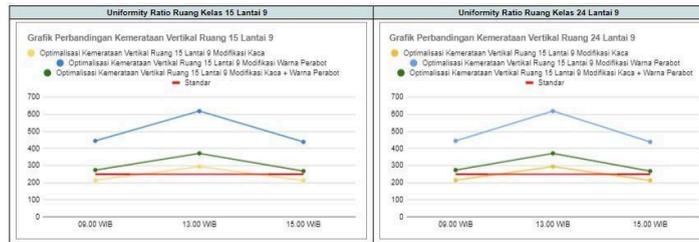
Optimization Of The Glass Facade and Interior Design for Natural Lighting in Teaching And Learning Activities Inside The Classrooms of Muhammadiyah University, Bandung

Tabel 4.11 Grafik Perbandingan Seluruh Modifikasi *Uniformity Ratio* Ruang Kelas 15 dan 24



Dilihat pada grafik perbandingan pemerataan vertikal pada ruang 15 dan 24 dengan modifikasi 1 pada pukul 9.00 dan 15.00 WIB masih dibawah standar karena kuat intensitas cahaya yang menurun akibat pemasangan kaca film.

Tabel 4.12 Grafik Perbandingan Seluruh Modifikasi Kemerataan Vertikal pada Ruang Kelas 15 dan 24



3. Rasio Kontras dan Silau

Tabel 4.13 Tabel Perbandingan Seluruh Modifikasi Rasio Kontras dan Silau pada Ruang Kelas 15 dan 24

Kondisi Eksisting Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 15 Lantai 9)						
Waktu	Rasio Kontras			Rasio Silau		
	Sumber Cahaya Timur : Adjacent Area	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area	Sumber Cahaya : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Timur	Adjacent Area : Sumber Cahaya Selatan	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya
9.00 WIB	43.63 : 1	23.2 : 1	21.67 : 1	1 : 4.62	1 : 2.82	1 : 2.27
13.00 WIB	43.69 : 1	36.6 : 1	12.43 : 1	1 : 43.69	1 : 36.6	1 : 12.43
15.00 WIB	39.8 : 1	37.5 : 1	13 : 1	1 : 39.8	1 : 37.5	1 : 13
Hasil Optimalisasi Modifikasi Kaca Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 15 Lantai 9)						
Waktu	Rasio Kontras			Rasio Silau		
	Sumber Cahaya Timur : Adjacent Area	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area	Sumber Cahaya : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Timur	Adjacent Area : Sumber Cahaya Selatan	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya
9.00 WIB	47.8 : 1	23.5 : 1	20.13 : 1	1 : 47.8	1 : 23.5	1 : 20.13
13.00 WIB	52 : 1	40 : 1	12.85 : 1	1 : 52	1 : 40	1 : 12.85
15.00 WIB	48.2 : 1	41 : 1	12.39 : 1	1 : 48.2	1 : 41	1 : 12.39
Hasil Optimalisasi Modifikasi Warna Perabot Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 15 Lantai 9)						
Waktu	Rasio Kontras			Rasio Silau		
	Sumber Cahaya Timur : Adjacent Area	Sumber Cahaya Selatan : Adjacent Area	Sumber Cahaya : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Timur	Adjacent Area : Sumber Cahaya Selatan	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya
9.00 WIB	12.59 : 1	7.37 : 1	3.13 : 1	1 : 12.59	1 : 7.37	1 : 3.13
13.00 WIB	12 : 1	12.79 : 1	4.84 : 1	1 : 12	1 : 12.79	1 : 4.84
15.00 WIB	13.8 : 1	14.97 : 1	4.97 : 1	1 : 13.8	1 : 14.97	1 : 4.97
Hasil Optimalisasi Modifikasi Kaca + Warna Perabot Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 24 Lantai 9)						
Waktu	Rasio Kontras			Rasio Silau		
	Sumber Cahaya Barat : Adjacent Area	Sumber Cahaya Utara : Adjacent Area	Sumber Cahaya : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Barat	Adjacent Area : Sumber Cahaya Utara	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya
9.00 WIB	14.5 : 1	10.2 : 1	3.13 : 1	1 : 14.5	1 : 10.2	1 : 3.13
13.00 WIB	8.92 : 1	7.46 : 1	1.96 : 1	1 : 8.92	1 : 7.46	1 : 1.96
15.00 WIB	6.23 : 1	3.81 : 1	2.18 : 1	1 : 6.23	1 : 3.81	1 : 2.18
Ketentuan Rasio Kontras				Ketentuan Rasio Silau		
Memenuhi Standar				Warna		
Tidak Memenuhi Standar				≤ 1 : 10		
Standar yang Direkomendasikan (Maksimal)				1 : 11 - 1 : 20		
Sumber Cahaya : Adjacent Area				Mememicu discomfort glare sampai terjadinya discomfort glare		
				1 : 21 - 1 : 50		
				Mememicu disability glare sampai terjadinya disability glare		

Tabel 4.14 Grafik Perbandingan Seluruh Modifikasi Rasio Kontras dan Silau pada Ruang Kelas 15 dan 24

Kondisi Eksisting Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 24 Lantai 9)						
Waktu	Rasio Kontras			Rasio Silau		
	Sumber Cahaya Barat : Adjacent Area	Sumber Cahaya Utara : Adjacent Area	Sumber Cahaya : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Barat	Adjacent Area : Sumber Cahaya Utara	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya
9.00 WIB	43.2 : 1	23.77 : 1	17.6 : 1	1 : 43.2	1 : 23.77	1 : 17.6
13.00 WIB	26.3 : 1	18.1 : 1	10.77 : 1	1 : 26.3	1 : 18.1	1 : 10.77
15.00 WIB	9.4 : 1	4.63 : 1	6.99 : 1	1 : 9.4	1 : 4.63	1 : 6.99
Hasil Optimalisasi Modifikasi Kaca Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 24 Lantai 9)						
Waktu	Rasio Kontras			Rasio Silau		
	Sumber Cahaya Barat : Adjacent Area	Sumber Cahaya Utara : Adjacent Area	Sumber Cahaya : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Barat	Adjacent Area : Sumber Cahaya Utara	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya
9.00 WIB	62	24.79	30	62	24.79	30
13.00 WIB	34	24.11	15.1	34	24.11	13.1
15.00 WIB	11.11	4.9	7.28	11.11	4.9	7.98
Hasil Optimalisasi Modifikasi Warna Perabot Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 24 Lantai 9)						
Waktu	Rasio Kontras			Rasio Silau		
	Sumber Cahaya Barat : Adjacent Area	Sumber Cahaya Utara : Adjacent Area	Sumber Cahaya : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Barat	Adjacent Area : Sumber Cahaya Utara	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya
9.00 WIB	11.74 : 1	11.28 : 1	7.08 : 1	1 : 11.74	1 : 11.28	1 : 7.08
13.00 WIB	10.72 : 1	8.5 : 1	3.8 : 1	1 : 10.72	1 : 8.5	1 : 3.8
15.00 WIB	4.89 : 1	1.48 : 1	2.41 : 1	1 : 4.89	1 : 1.48	1 : 2.41
Hasil Optimalisasi Modifikasi Kaca + Warna Perabot Rasio Kontras dan Rasio Silau Sumber Cahaya terhadap Ruangan (Ruang 24 Lantai 9)						
Waktu	Rasio Kontras			Rasio Silau		
	Sumber Cahaya Barat : Adjacent Area	Sumber Cahaya Utara : Adjacent Area	Sumber Cahaya : Adjacent Area (Papan Tulis)	Adjacent Area : Sumber Cahaya Barat	Adjacent Area : Sumber Cahaya Utara	Adjacent Area (Papan Tulis) : Sumber Cahaya
9.00 WIB	11.74 : 1	11.28 : 1	7.08 : 1	1 : 11.74	1 : 11.28	1 : 7.08
13.00 WIB	8.92 : 1	7.46 : 1	1.96 : 1	1 : 8.92	1 : 7.46	1 : 1.96
15.00 WIB	6.23 : 1	3.81 : 1	2.18 : 1	1 : 6.23	1 : 3.81	1 : 2.18
Ketentuan Rasio Kontras				Ketentuan Rasio Silau		
Memenuhi Standar				Warna		
Tidak Memenuhi Standar				≤ 1 : 10		
Standar yang Direkomendasikan (Maksimal)				1 : 11 - 1 : 20		
Sumber Cahaya : Adjacent Area				Mememicu discomfort glare sampai terjadinya discomfort glare		
				1 : 21 - 1 : 50		
				Mememicu disability glare sampai terjadinya disability glare		

Dilihat pada tabel perbandingan rasio kontras dan silau pada ruang 15 dan 24 lantai 9 bahwa modifikasi 1 yaitu mengaplikasikan kaca film dapat menurunkan intensitas cahaya, namun jika luminasi area pengguna tetap gelap, modifikasi 1 tidak dapat menurunkan kontras dan silau dengan maksimal. Pada modifikasi 2 yaitu merubah warna perabot menjadikan luminasi area pengguna menjadi turun sehingga rasio kontras pada ruang 15 menurun, tetapi masih memicu *discomfort glare* sampai terjadinya *discomfort glare*. Setelah modifikasi ke 3 dengan menggabungkan kedua modifikasi sebelumnya dapat menurunkan rasio kontras dan silau pada ruang.

5. KESIMPULAN

1. Ruang Kelas 7 Lantai 5

Tabel 5.1 Tabel Kesimpulan Modifikasi terhadap Kualitas dan Kuantitas Pencahayaan Alami Ruang kelas 7 Lantai 5

Keterangan	Illuminasi Cahaya & DF	Kemerataan Cahaya	Rasio Kontras dan Silau	
Modifikasi 1 : Warna Perabot dan Dinding	↑	↑↑	↑	↑ = Sedikit Memperbaiki
Modifikasi 2 : Dimensi Bukaannya	↑↑	↑	↑↑	↑↑ = Memperbaiki Belum Mencapai Standar
Modifikasi 3 : Penambahan Light Shelf	↓	↑	↓	↑↑↑ = Sangat Memperbaiki Mencapai Standar
Modifikasi 4 : Seluruh	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↓ = Tidak Memperbaiki
				↓ = Memperburuk

2. Ruang Kelas 15 dan 24 Lantai 9

Tabel 5.2 Tabel Kesimpulan Modifikasi terhadap Kualitas dan Kuantitas Pencahayaan Alami Ruang kelas 15 dan 24 Lantai 9

Keterangan	Illuminasi Cahaya & DF	Kemerataan Cahaya	Rasio Kontras dan Silau	
Modifikasi 1 : Kaca	↓	↓	↓	↑ = Sedikit Memperbaiki
Modifikasi 2 : Warna Perabot	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑ = Memperbaiki Belum Mencapai Standar
Modifikasi 3 : Seluruh	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑ = Sangat Memperbaiki Mencapai Standar
				↓ = Tidak Memperbaiki
				↓ = Memperburuk

1. Dimensi Bukaannya

Memodifikasi Dimensi bukaan berpengaruh untuk menaikkan intensitas cahaya pada ruangan. Ruang 7 lantai 5 memiliki dimensi bukaan yang kecil membuat cahaya yang masuk tidak optimal. Namun peningkatan intensitas cahaya pada ruangan ini masih belum tercapai jika tidak dikombinasi dengan strategi modifikasi lainnya.

2. Modifikasi Kaca

Memodifikasi kaca dengan pemasangan kaca film bertujuan untuk menurunkan transmisi cahaya pada ruang yang memiliki fasad kaca dengan dimensi yang besar seperti pada ruang 15 dan 24 dapat menurunkan intensitas cahaya. Penurunan intensitas cahaya bertujuan untuk menghindari potensi terjadinya *glare* dengan kondisi intensitas cahaya ruang kelas 15 dan 24 melebihi standar yaitu mencapai 1000 lux. Kemerataan cahaya pada ruangan 15 dan 24 masih mencapai standar.

3. Warna Perabot dan Dinding

Memodifikasi warna perabot dan dinding dapat menaikkan intensitas cahaya tetapi jika di ruangan yang memiliki dimensi bukaan yang kecil, peningkatan kuat intensitas cahaya

tidak terlalu signifikan. Cahaya dapat dipantulkan pada bidang reflektif dalam ruangan sehingga berpengaruh pada aspek pemerataan cahaya pada ruangan. Modifikasi ini berpengaruh juga terhadap penurunan kontras, karena luminasi pada area pengguna menjadi lebih besar dan tidak jauh berbeda dengan sumber cahaya pada bukaan yang ada di ruang-ruang kelas Universitas Muhammadiyah Bandung.

4. Light Shelf

Penggunaan light shelf yang dilakukan pada ruang kelas 7 lantai 5 kurang optimal, dikarenakan dimensi bukaan pada ruang kelas 7 masih terlalu kecil sehingga cahaya yang masuk pada bidang permukaan light shelf tidak dapat dipantulkan secara optimal.

Dengan menggabungkan keseluruhan modifikasi intensitas cahaya, pemerataan cahaya, dan tingkat rasio kontras telah mencapai standar yang ditentukan. Menggabungkan modifikasi secara keseluruhan dapat menyelesaikan permasalahan yang timbul pada tiap ruang nya karena tiap modifikasi memiliki tujuan pencapaian yang berbeda, seperti pada rasio kontras dapat menurun karena tidak adanya perbedaan luminasi yang signifikan pada sumber cahaya dan area pengguna. Area pengguna berwarna lebih terang sehingga iluminasi pada area pengguna juga lebih tinggi.

6. DAFTAR PUSTAKA

Buku

- Pangestu, Mira Dewi. (2019). *Pencahayaan Alami dalam Bangunan*. Bandung: UNPAR PRESS.
- Brown.(2001). *Sun, Wind & Light – Architectural Design Strategies*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Lechner, N. (2015). *Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Design Methods for Architects*, 4th Edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Jurnal dan Laporan Ilmiah

- Yuniar, Erwin (2021). Pengaruh Secondary Skin Fasad Bangunan terhadap Kualitas Pencahayaan Alami Ruang Kerja. (hal. 3-6)
- Kurnia, Danis (2014). Optimasi Pemerataan Tingkat Terang Cahaya pada Rancangan Ruang Kelas Bangunan Pendidikan Nonformal di Kota Malang. (hal. 6-10)
- Dora. Purnama (2010). Optimasi Desain Pencahayaan Ruang Kelas SMA Santa Maria Surabaya. (hal. 3-11)
- Idrus, Irnawaty (2020). Model Pencahayaan Alami Ruang Kelas Berbasis Persepsi Visual Siswa Sekolah Dasar dan Menengah Di Area Tropis. (hal. 19-35)
- Littlefair, P.J. Light shelves: Computer assessment of daylighting performance. *Light. Res. Technol.* 1995, 27, 79–91. [CrossRef]
- Kontakdakis, Antonis (2017). A Review of Light Shelf Designs for Daylit Environments. (hal 5-6)
- Maulidina, Thifal (2020). Presentase Window-To-Wall Ratio (Wwr) Kantor Bank Di Jakarta. (hal 39)
- Evangeina, Margareta (2022). Pengaruh Bentuk Light Shelf Terhadap Penetrasi Cahaya Pada Gedung Perkantoran Di Kawasan Tropis. (hal 3-5)

Internet

- PT Asahimas Flat Glass Tbk. (n.d.). Produk Kaca Lembaran. Diakses tanggal 20 Maret 2022 dari <http://amfg.co.id/id/produk/kaca-lembaran/exterior-kami/panasap.html>.

Standar

- Building Research Establishment Environmental Assessment Method. (n.d.). BREEAM Daylight 4a/c.
- Green Building Council Indonesia. (2014). *Greenship, Panduan Penerapan, Perangkat Penilaian Bangunan Hijau di Indonesia untuk Gedung Baru Versi 1.2*. Jakarta: Konsil Bangunan Hijau.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2001). *Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung*, SNI-03-2396-2001. Badan Standardisasi Nasional