

Simulasi Kinerja Sistem Pencahayaan Alami Anidolic Light Pipe pada Gedung Kantor

*Puspita Utari¹, Izharul Haq², Reinny Devi F. Razak³

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Papua, Indonesia

²Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Ichsan Sidenreng Rappang, Indonesia

³Program Studi TPPK, Politeknik ATK Yogyakarta, Indonesia

Alamat Email: p.utari@unipa.ac.id

*Penulis korespondensi, Masuk: 21 Mei. 2025, Direvisi: 01 Agu. 2025, Diterima 15 Sep. 2025

ABSTRAK: Pencahayaan alami merupakan elemen penting dalam desain bangunan yang berkelanjutan, khususnya untuk gedung perkantoran di wilayah tropis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem Anidolic Light Pipe (ALP) dalam meningkatkan distribusi pencahayaan alami di ruang kerja gedung kantor tropis melalui pendekatan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Radiance. Fokus kajian meliputi tiga variabel utama desain ALP, yaitu lebar saluran cahaya, sudut bukaan kolektor, dan reflektansi material interior saluran. Studi kasus dilakukan pada lantai tiga Gedung Menara Bosowa Makassar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi desain ALP memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai daylight factor dan rasio keseragaman pencahayaan. Konfigurasi optimal ditemukan pada saluran dengan lebar 5 meter, sudut kolektor 40°, dan material dengan reflektansi 98%. Kombinasi ini memberikan peningkatan daylight factor secara signifikan dibandingkan kondisi tanpa sistem ALP. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan strategi daylighting yang efisien dan nyaman di wilayah tropis, serta dapat dijadikan acuan dalam desain pencahayaan alami untuk bangunan perkantoran yang lebih ramah lingkungan dan hemat energi.

Kata kunci: pencahayaan alami, anidolic light pipe, daylight factor, efisiensi energi, ruang kerja tropis

ABSTRAK: Natural daylighting is a crucial component of sustainable building design, particularly for office buildings in tropical climates. This study aims to evaluate the performance of the Anidolic Light Pipe (ALP) system in improving natural light distribution in office workspaces through a numerical simulation approach using Radiance software. The study focuses on three primary design variables of the ALP: light pipe width, collector opening angle, and the reflectance of interior materials. The case study is based on the third floor of the Bosowa Tower in Makassar, Indonesia. Simulation results demonstrate that variations in ALP design significantly influence daylight factor values and uniformity ratios. The optimal configuration was identified as a 5-meter-wide light pipe, a 40° collector angle, and materials with 98% reflectance. This combination significantly improved the daylight factor compared to the baseline condition without an ALP system. The findings contribute to the advancement of efficient and comfortable daylighting strategies for tropical regions and serve as a reference for environmentally friendly and energy-efficient office lighting design.

Keywords: natural daylighting, anidolic light pipe, daylight factor, energy efficiency, tropical workspace

1. PENDAHULUAN

Pencahayaan alami dalam bangunan, khususnya gedung perkantoran, merupakan aspek krusial yang tidak hanya berdampak pada efisiensi energi, tetapi juga secara signifikan memengaruhi kenyamanan dan kesehatan pengguna ruang. Akses terhadap cahaya alami terbukti mampu mengurangi kelelahan mata hingga 48% melalui peningkatan kenyamanan visual dan relaksasi, yang secara langsung mengatasi gejala *Computer Vision Syndrome* [1]. Penelitian juga menunjukkan adanya korelasi antara paparan cahaya

alami yang meningkat dengan peningkatan performa kognitif, di mana lingkungan kerja yang lebih terang terkait dengan kemampuan pengambilan keputusan yang lebih baik [2, 3]. Di sisi lain, pencahayaan alami berperan penting dalam mengoptimalkan penggunaan pencahayaan listrik, sehingga menghasilkan efisiensi energi pada gedung perkantoran [4, 5].

Lebih jauh, kehadiran cahaya alami turut memperkuat keterhubungan penghuni ruang dengan alam (*biophilic design*), menciptakan suasana estetika

yang menyenangkan dan berkontribusi terhadap pengurangan stres serta peningkatan produktivitas [6, 7]. Temuan ini menggarisbawahi hubungan erat antara kualitas lingkungan visual dan kepuasan kerja pengguna ruang, serta mempertegas pentingnya pencahayaan alami sebagai bagian integral dari desain ruang kantor yang sehat dan berkelanjutan [8-11].

Meskipun demikian, pencapaian distribusi cahaya alami yang merata dalam ruang kantor bertipologi *deep-plan* atau tanpa bukaan jendela masih menjadi tantangan. Konfigurasi ruang semacam ini kerap membatasi penetrasi cahaya alami ke area kerja, menghasilkan pencahayaan yang tidak merata dan menimbulkan ketidaknyamanan visual. Salah satu upaya yang telah dikembangkan adalah penggunaan sistem *light pipe* horizontal yang mampu menyalurkan cahaya lebih dalam ke dalam ruang. Namun, tantangan utama yang masih tersisa adalah mempertahankan tingkat iluminasi yang konsisten, karena kontras cahaya yang tinggi dapat menyebabkan ketidaksesuaian visual [12, 13].

Dalam konteks tropis, beragam teknologi pencahayaan alami telah diterapkan, seperti *light shelves* dan sistem kisi dinamis (*parametric louver systems*). *Light shelves* berfungsi memantulkan cahaya ke langit-langit dan ke dalam ruang sambil memberikan efek shading [9, 13]. Sementara itu, kisi parametrik dirancang untuk mengatur distribusi cahaya secara dinamis dengan mengubah sudut kemiringan bilah, sehingga meningkatkan keseragaman pencahayaan [14, 15]. Sistem *light pipe* horizontal juga terbukti efektif menjangkau area-area terdalam yang biasanya tidak terakses cahaya langsung [15, 16]. Efektivitas sistem ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan pengguna, tetapi juga mendukung efisiensi energi, terutama dalam iklim tropis yang intensitas cahaya alaminya tinggi [17].

Strategi pencahayaan seperti *anidolic light pipe* (ALP) menjadi salah satu solusi inovatif dalam menjawab permasalahan distribusi cahaya dalam gedung bertipologi dalam dan berorientasi tropis. Dibandingkan dengan teknologi seperti *light shelves* atau solar tube, ALP didesain secara khusus untuk menangkap cahaya dari langit mendung dan menyalurkannya jauh ke dalam bangunan dengan risiko silau dan beban termal yang rendah. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *light shelves* memiliki keterbatasan dalam menjangkau area terdalam, sedangkan sistem *anidolic* menunjukkan performa lebih unggul dalam mendistribusikan cahaya secara merata dalam skala luas [18, 19].

Lebih lanjut, studi di iklim tropis mengungkap bahwa sistem *anidolic* tidak hanya efektif dalam memperdalam penetrasi cahaya, tetapi juga mampu mengontrol kenaikan suhu ruang akibat radiasi langsung. ALP sering dikombinasikan dengan alat pengendali panas untuk menciptakan kenyamanan termal yang optimal [18]. Sementara itu, teknologi *light shelf* umumnya hanya efektif untuk ruang dengan bentang pendek, sehingga sistem *anidolic* menjadi solusi tepat untuk rancangan kantor dengan kebutuhan pencahayaan dalam dan menyeluruh [2, 19].

Namun, hingga kini belum banyak studi yang secara komprehensif mengevaluasi kinerja sistem ALP berdasarkan modifikasi tiga komponen utama, yaitu: lebar saluran, sudut kolektor, dan reflektansi material. Padahal, ketiga parameter tersebut diyakini berperan penting dalam menentukan efektivitas distribusi pencahayaan alami dalam ruang. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk menjawab kekosongan tersebut dengan melakukan kajian berbasis simulasi numerik terhadap ketiga aspek tersebut secara terpadu dalam satu studi.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem *anidolic light pipe* dalam mendistribusikan pencahayaan alami pada ruang kantor tropis melalui pendekatan simulasi berbasis perangkat lunak *Radiance*. Studi ini akan mengkaji efek dari variasi desain pada lebar saluran, sudut kolektor, serta reflektansi material terhadap nilai *daylight factor* dan rasio keseragaman pencahayaan dalam ruang. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat ditemukan konfigurasi desain yang optimal guna meningkatkan efisiensi pencahayaan alami dan kenyamanan visual dalam ruang kerja.

Penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) berupa pendekatan evaluatif yang terintegrasi terhadap tiga parameter utama desain ALP dalam satu studi berbasis simulasi. Kebaruan ini diharapkan dapat memperkaya khazanah penelitian *daylighting*, khususnya di kawasan tropis, serta memberikan rekomendasi praktis dalam perancangan gedung perkantoran hemat energi dan ramah lingkungan.

2. METODE

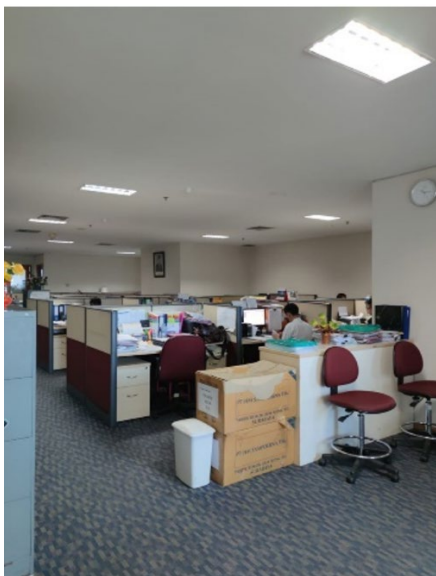
2.1. Penelitian dan Pemodelan Ruang Kerja

Penelitian ini menitikberatkan pada evaluasi kinerja sistem pencahayaan alami *anidolic light pipe* di Gedung Kantor Menara Bosowa Makassar dengan memanfaatkan perangkat lunak *radiance*. Gedung tersebut memiliki 22 lantai dengan penomoran hingga 23 lantai. Lantai 1 dan 23 berfungsi sebagai fasilitas umum, sedangkan lantai 2–22 difungsikan sebagai

area perkantoran. Lantai 1 memiliki luas sekitar ± 950 m² dengan ketinggian jendela kaca 6 m, sementara lantai 2–19 seluas ± 900 m², dan lantai 20–23 masing-masing seluas ± 680 m² dengan ketinggian jendela kaca 1,8 m. Pada lantai 1–6, bangunan sebagian besar menggunakan kaca reflektif 8 mm, kecuali sisi timur yang berupa dinding bata berlapis cat tanpa bukaan. Adapun lantai 9–23 sepenuhnya didominasi kaca reflektif 8 mm pada seluruh sisi bangunan. Fokus penelitian diarahkan pada lantai 3 (unit B dan C) di sisi timur dengan luas 300 m². Area ini dipilih karena berbatasan dengan dinding masif tanpa bukaan, sehingga cahaya alami tidak dapat masuk ke dalam ruang. Area tersebut juga dianggap mewakili tipikal ruang kantor pada lantai 1–6 sisi timur Gedung Menara Bosowa Makassar. Lantai ini terdiri atas beberapa ruang kantor privat dan kantor terbuka, di mana ruang privat menempati area selubung bangunan, sedangkan ruang terbuka berada di bagian tengah bangunan.



Gambar 1. Dokumentasi area *private office* pada sisi selatan bangunan



Gambar 2. Dokumentasi area *open-plan office*

Sisi utara dan selatan gedung merupakan area *private office* dekat selubung bangunan yang didominasi *reflective glass* 8 mm. Pada area ini, nilai iluminasi cukup tinggi, akibat pengaruh dari terang langit, terutama pada waktu siang hari. Hal ini menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna kantor, karena cahaya dari terang langit yang terpantul pada laptop kerja yang menimbulkan terang berlebih dalam ruang. Sehingga beberapa karyawan yang duduk pada area tersebut memasang *horizontal blind*. Dari hasil pengukuran awal, salah satu titik ukur pada area ini memiliki nilai iluminasi tinggi yaitu 1850 lux.

Sisi timur bangunan difungsikan sebagai area kantor terbuka. Bagian timur ini berupa dinding bata masif tanpa bukaan, sehingga distribusi cahaya alami tidak dapat masuk ke dalam ruangan. Kondisi tersebut menjadikan area ini relatif gelap. Salah satu titik pengukuran di area ini bahkan menunjukkan tingkat iluminasi rendah, yaitu sebesar 71 lux. Berdasarkan temuan tersebut, diperlukan kajian strategi pencahayaan yang tepat untuk meminimalkan potensi silau berlebih sekaligus mengatasi kekurangan cahaya dengan menyalurkan distribusi pencahayaan alami ke dalam ruang. Terdapat berbagai sistem pencahayaan alami yang dirancang untuk menangkap serta menyalurkan cahaya ke bagian ruang yang lebih dalam guna meningkatkan kenyamanan visual, antara lain *light pipe system*, *solar tube*, dan *anidolic integrated ceiling*. Dari ketiga sistem tersebut, *anidolic integrated ceiling* dinilai paling efektif diaplikasikan pada ruang kantor yang berlokasi jauh dari jendela, karena mampu meningkatkan kualitas kenyamanan visual tanpa menimbulkan beban panas berlebih [20].

2.2. Simulasi Komputer

Proses simulasi komputer dilaksanakan dengan dukungan perangkat lunak *radiance* untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kinerja *anidolic light pipe* dalam mendistribusikan cahaya alami pada Gedung Menara Bosowa Makassar. Desain model *anidolic light pipe* yang dianalisis melalui *radiance* disesuaikan dengan karakteristik ruang kerja pada bangunan tersebut.

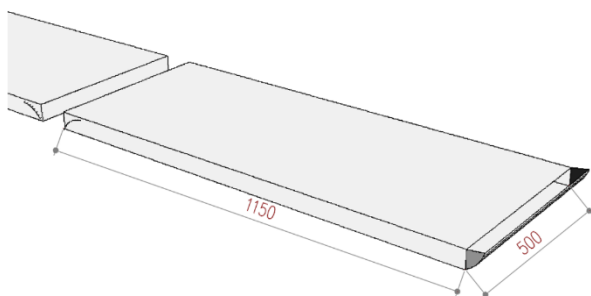
Radiance merupakan program simulasi pencahayaan berbasis metode *ray-tracing* yang dapat memprediksi perilaku cahaya di dalam ruang secara tepat, sehingga simulasi yang dilakukan mampu memberikan data keluaran yang lengkap serta dibutuhkan dalam menganalisis fenomena pencahayaan Wong [21] telah memanfaatkan *Radiance* dalam mengkaji performa pencahayaan

anidolic [21]. Hasil simulasi *Radiance* memperlihatkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara iluminasi aktual dengan simulasi sesaat hampir pada seluruh titik penerima cahaya difus, namun pada titik yang mendapatkan radiasi matahari langsung, korelasinya baik pada intensitas rendah dan semakin menurun pada intensitas yang tinggi [22].

2.3. Pengukuran Daylight Factor pada Komponen Anidolic Light Pipe

Tahap ini diarahkan untuk menganalisis sejauh mana modifikasi komponen *anidolic light pipe* berpengaruh terhadap pola distribusi pencahayaan alami. Perhitungan *daylight factor* dalam penelitian ini dilaksanakan dengan memanfaatkan perangkat lunak *Radiance*. Secara prinsip, *daylight factor* ditentukan berdasarkan kondisi siang hari tanpa mempertimbangkan variasi cuaca yang sedang berlangsung. Metode ini umumnya diaplikasikan pada langit mendumung dan tidak diperuntukkan bagi kondisi langit cerah [23].

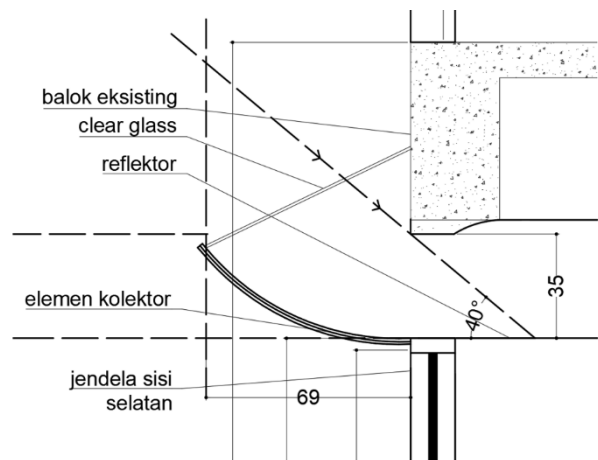
Mengingat intensitas cahaya langit bersifat dinamis, maka tingkat penerangan yang masuk ke dalam bangunan dinyatakan melalui suatu rasio yang disebut faktor pencahayaan siang hari (FP) atau *Daylight Factor*–DF. Faktor pencahayaan siang hari didefinisikan sebagai rasio antara tingkat iluminasi pada suatu titik bidang tertentu di dalam ruangan yang dihasilkan oleh cahaya langit dengan distribusi *luminansi* tertentu, terhadap tingkat iluminasi pada bidang horizontal di ruang terbuka yang diterangi cahaya langit pada waktu yang sama. Komponen *anidolic light pipe* yang meliputi saluran, kolektor, dan distributor berperan sebagai elemen utama yang menentukan distribusi pencahayaan alami.



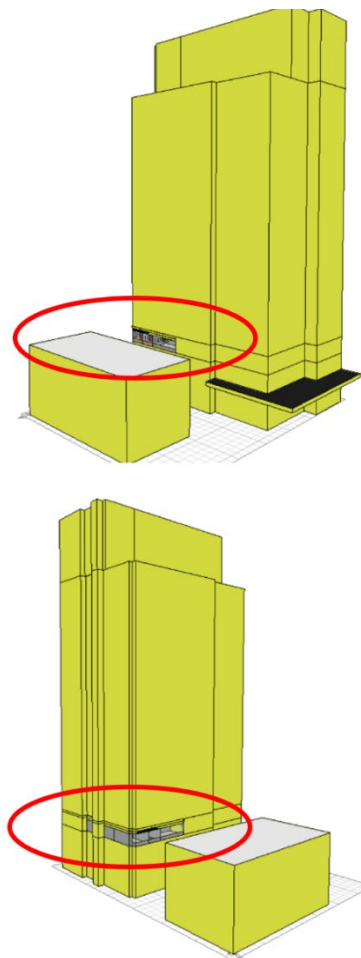
Gambar 3. Saluran Lebar 5 m, Panjang 11,5 m

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi terhadap beberapa rancangan alternatif komponen *anidolic light pipe* dengan memanfaatkan perangkat lunak *Radiance*. Model reference merupakan ruangan dengan *anidolic light pipe*, sedangkan model

basecase merupakan ruangan tanpa *anidolic light pipe*. Adapun detail model referensi *anidolic light pipe* pada penelitian ini dijabarkan pada Gambar 3-4.

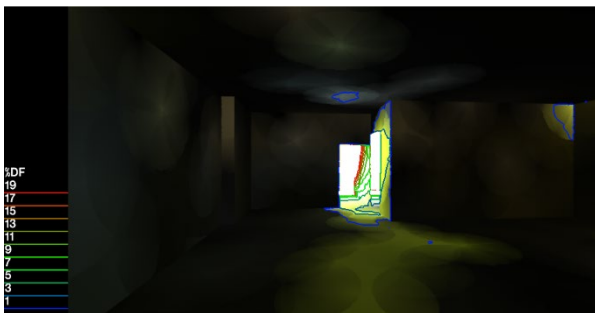


Gambar 4. Kolektor, Material Reflektansi 90%, sudut bukaan 40°

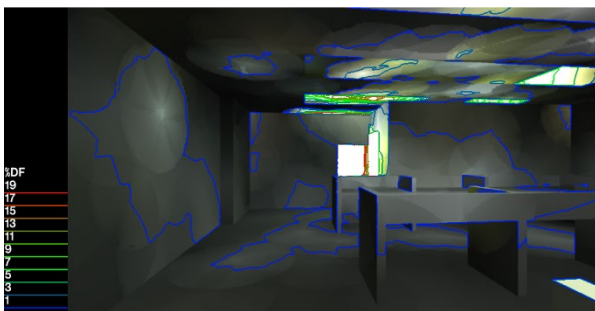


Gambar 5. Ilustrasi model pada software *radiance*

Konfigurasi model pada *software radiance* berupa material dan ukuran disesuaikan dengan studi kasus lantai 3 Gedung Menara Bosowa Makassar. Begitu juga dengan lingkungan sekitar gedung seperti Gedung BNI pada sisi utara Gedung Bosowa Makassar dengan jarak 12,7 m dari gedung. Material dinding, plafon dan juga lantai disesuaikan dengan material eksisting pada gedung. Model disimulasikan dengan menggunakan *software radiance* pada kondisi langit mendung, untuk mengetahui kinerja *anidolic light pipe* pada kondisi terburuk/*worst condition*.



Gambar 6. Hasil render gambar software *radiance* tanpa *anidolic*



Gambar 7. Hasil render gambar software *radiance* dengan *anidolic*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Desain Saluran *Anidolic Light Pipe* terhadap Distribusi Pencahayaan Alami

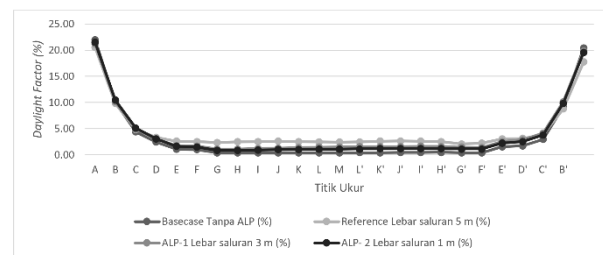
Salah satu komponen utama pada perangkat *anidolic light pipe* adalah saluran penyalur cahaya. Dengan bantuan *software radiance*, peneliti mencoba menyimulasikan 4 variabel bebas, antara lain :

- Kasus *basecase*, kondisi gedung tanpa *anidolic light pipe*.
- Kasus *reference*, desain saluran *anidolic light pipe* mengacu pada saluran yang diteliti sebelumnya pada model eksperimen maket dengan lebar saluran cahaya 5 m.
- Kasus 1 (ALP-1). Lebar saluran cahaya 3 m.

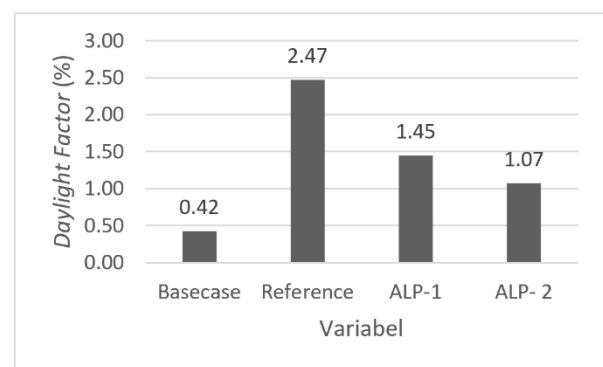
- Kasus 2 (ALP-2). Lebar saluran cahaya 1 m.

Dari hasil simulasi, didapatkan ukuran nilai *daylight factor* pada 25 titik pengukuran. Titik ukur yang disimulasikan paling jauh berada pada jarak 12.5 m dari jendela, dan paling dekat berada pada jarak 0.5 m dari jendela. Dari hasil tersebut, didapatkan nilai *uniformity ratio* yang berpengaruh terhadap distribusi pencahayaan. Adapun hasil simulasi dengan menggunakan *software radiance* dijabarkan pada Tabel 2 dan Gambar 8-11.

Gambar 8 menunjukkan nilai *daylight factor* terhadap titik ukur yang diletakkan paling dekat 0.5 m (titik A) dari jendela, dan paling jauh 12.5 m (titik M) dari jendela. Dari grafik tersebut terlihat nilai *daylight factor* pada jarak 0.5 m dari jendela mengalami penurunan ketika lebar saluran diperkecil menjadi 3 m dan 1 m. Sedangkan pada titik terjauh dari jendela, nilai *daylight factor* juga mengalami penurunan ketika saluran diperkecil menjadi 3 m dan 1 m.



Gambar 8. Grafik Hasil Simulasi Desain Saluran *Anidolic Light Pipe*



Gambar 9. *Daylight Factor* pada Jarak 11,5 m dari Jendela

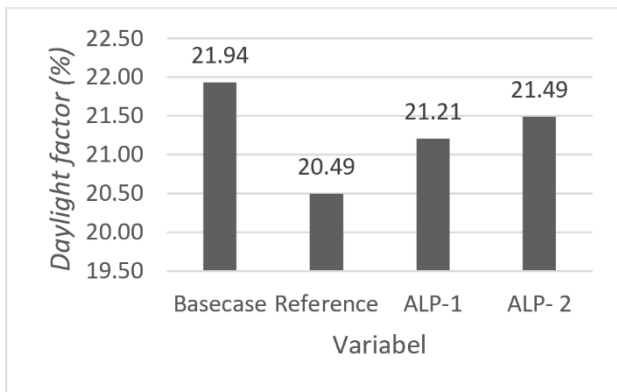
Gambar 9 menunjukkan pada jarak 11,5 m dari jendela, nilai *daylight factor* pada variabel *reference* dengan lebar saluran 5 m berubah dari 0,42% menjadi 2,47%, atau meningkat sebesar 483,21% dari *basecase*. Hal ini dipengaruhi oleh sistem

pencahayaan anidolic light pipe yang menyalurkan pencahayaan alami dari luar ruangan ke dalam ruangan. Ketika saluran diperkecil menjadi 3 m (variabel ALP-1), nilai daylight factor berubah menjadi 1,45%, atau mengalami penurunan sebesar 41,29%. Hal ini disebabkan jumlah distribusi cahaya berkurang setelah lebar anidolic diturunkan menjadi 3 m. Ketika saluran diperkecil menjadi 1 m (variabel ALP-2), nilai daylight factor berubah menjadi 1,07%, atau turun sebesar 56,61%. Sehingga ketika saluran diturunkan tiap 1 m, maka jumlah distribusi

pencahayaan alami yang masuk ke dalam ruangan juga turun sebesar 14%. Dari hasil pengukuran tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa semakin kecil lebar saluran anidolic light pipe maka semakin berkurang distribusi pencahayaan alami yang masuk ke dalam ruangan. Sebaliknya, Ketika lebar saluran diperbesar, distribusi pencahayaan alami yang masuk ke dalam ruang juga semakin baik. Hal ini disebabkan oleh lebar kolektor yang diikuti dengan lebar saluran dapat menampung cahaya lebih banyak dibandingkan dengan saluran yang lebih kecil.

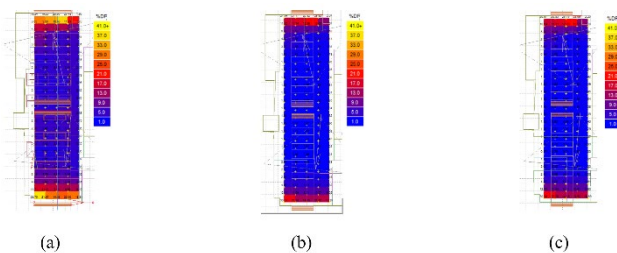
Tabel 1. Hasil Simulasi Desain Saluran Anidolic Light Pipe

Sisi Jendela	Jarak dari Jendela (m)	Kode	Basecase	Reference	ALP-1	ALP- 2
			Tanpa ALP (%)	Lebar saluran 5 m (%)	Lebar saluran 3 m (%)	Lebar saluran 1 m (%)
Utara	0,5 m	A	21.94	20.49	21.21	21.49
	1.5 m	B	9.99	9.80	10.16	10.42
	2.5 m	C	4.38	4.82	4.95	5.12
	3.5 m	D	2.40	3.32	3.08	3.08
	4.5 m	E	1.10	2.61	1.74	1.60
	5,5 m	F	0.98	2.53	1.66	1.48
	6.5 m	G	0.42	2.36	1.10	0.87
	7.5 m	H	0.37	2.49	1.12	0.86
	8.5 m	I	0.37	2.54	1.19	0.91
	9.5 m	J	0.41	2.58	1.28	1.00
	10,5 m	K	0.42	2.52	1.39	1.05
	11,5 m	L	0.42	2.47	1.45	1.07
	12.5 m	M	0.43	2.45	1.50	1.08
Selatan	11,5 m	L'	0.44	2.47	1.54	1.14
	10,5 m	K'	0.43	2.58	1.55	1.16
	9.5 m	J'	0.45	2.65	1.55	1.19
	8.5 m	I'	0.49	2.60	1.61	1.21
	7.5 m	H'	0,51	2.52	1.59	1.18
	6.5 m	G'	0.41	2.09	1.43	1.15
	5,5 m	F'	0.42	2.23	1.41	1.14
	4.5 m	E'	1.54	3.05	2.56	2.27
	3.5 m	D'	1.72	3.14	2.86	2.54
	2.5 m	C'	2.95	3.85	4.14	3.80
	1.5 m	B'	9.16	8.76	10.13	9.82
	0,5 m	A'	20.45	17.74	19.86	19.57
			min	0.37	2.09	1.10
		maks	21.94	20.49	21.21	21.49
		rata-rata	3.30	4.59	4.08	3.85
		Uniformity Ratio	0.11	0.46	0.27	0.22



Gambar 10. Daylight Factor pada Jarak 0.5 m dari Jendela

Gambar 10 menunjukkan pada jarak 0,5 m dari jendela, nilai *daylight factor* pada variabel *reference* dengan lebar saluran 5 m berubah dari 21,94% menjadi 20,49%, atau menurun sebesar 6,58% dari *basecase*. Hal ini dipengaruhi oleh kolektor *anidolic* yang dipasang pada fasad bangunan mampu menurunkan nilai iluminasi pada area selubung bangunan. Ketika saluran menggunakan kolektor dan saluran 3 m (variabel ALP-1), nilai *daylight factor* berubah menjadi 21,21%, atau turun sebesar 3,33%. Ketika saluran diperkecil menjadi 1 m (variabel ALP-2), nilai *daylight factor* berubah menjadi 21,49%, atau turun hanya sebesar 2,03%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lebar saluran *anidolic*, maka semakin kecil nilai iluminasi pada area selubung bangunan. Hal tersebut tentunya mengurangi efek terang cahaya dari langit yang mengganggu pengguna ruang pada area selubung bangunan.



Gambar 11. Daylight factor reference (a), daylight factor ALP-1 (b), daylight factor ALP-2 (c)

3.2 Pengaruh Desain Kolektor *Anidolic Light Pipe* terhadap Distribusi Pencahayaan Alami

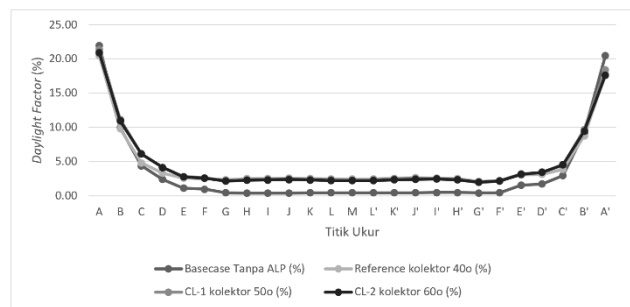
Kolektor *anidolic light pipe* merupakan salah satu komponen pada perangkat *anidolic light pipe* yang berpengaruh terhadap distribusi pencahayaan alami ke dalam ruangan. Dengan bantuan *software*

radiance, peneliti mencoba menyimulasikan 4 variabel bebas, antara lain :

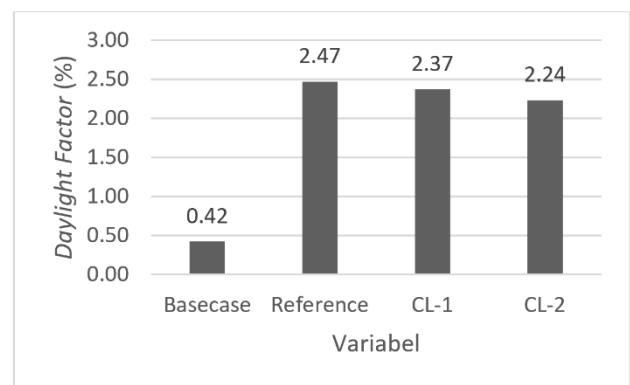
- Kasus *basecase*, kondisi gedung tanpa *anidolic light pipe*.
- Kasus *reference*, desain saluran *anidolic light pipe* mengacu pada saluran yang diteliti sebelumnya pada model eksperimen maket dengan sudut bukaan kolektor 40o.
- Kasus 1 (CL-1), bukaan kolektor 50o.
- Kasus 2 (CL-2), bukaan kolektor 60o.

Pada percobaan simulasi ini, peneliti meletakkan 25 titik ukur pada ruang untuk mengetahui sejauh mana desain kolektor berpengaruh terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kantor yang terdapat pada area selubung bangunan dan area terjauh dari selubung bangunan. Dari hasil pengukuran terhadap 25 titik ukur, didapatkan nilai *uniformity ratio* yang berpengaruh terhadap distribusi pencahayaan alami yang masuk ke dalam ruang kerja.

Adapun hasil simulasi dengan menggunakan *software radiance* dijabarkan pada Tabel 3 dan grafik 12-15.



Gambar 12. Grafik Hasil Simulasi Desain Saluran *Anidolic Light Pipe*



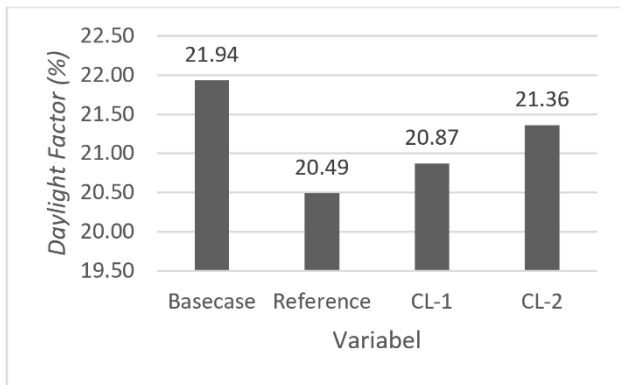
Gambar 13. Daylight Factor pada Jarak 11,5 m dari Jendela

Gambar 12 menunjukkan nilai *daylight factor* terhadap titik ukur yang diletakkan paling dekat 0.5 m (titik A) dari jendela, dan paling jauh 12.5 m (titik M) dari jendela. Dari grafik tersebut terlihat nilai *daylight factor* pada jarak 0.5 m dari jendela

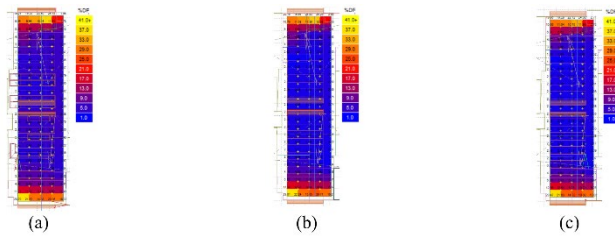
mengalami peningkatan ketika sudut bukaan kolektor diperbesar menjadi 50° dan 60°. Sedangkan pada titik terjauh dari jendela, nilai *daylight factor* mengalami penurunan ketika sudut bukaan kolektor diperbesar menjadi 50° dan 60°.

Tabel 2. Hasil Simulasi Desain Kolektor Anidolic Light Pipe

Sisi Jendela	Jarak dari Jendela (m)	Kode	Basecase Tanpa ALP (%)	Reference kolektor 40° (%)	CL-1 kolektor 50° (%)	CL-2 kolektor 60° (%)
Utara	0,5 m	A	21.94	20.49	20.87	21.36
	1.5 m	B	9.99	9.80	11.16	10.95
	2.5 m	C	4.38	4.82	6.14	6.14
	3.5 m	D	2.40	3.32	4.15	4.15
	4.5 m	E	1.10	2.61	2.81	2.77
	5,5 m	F	0.98	2.53	2.61	2.59
	6.5 m	G	0.42	2.36	2.19	2.18
	7.5 m	H	0.37	2.49	2.34	2.28
	8.5 m	I	0.37	2.54	2.43	2.34
	9.5 m	J	0.41	2.58	2.47	2.37
	10,5 m	K	0.42	2.52	2.42	2.31
	11,5 m	L	0.42	2.47	2.37	2.24
	12.5 m	M	0.43	2.45	2.32	2.20
Selatan	11,5 m	L'	0.44	2.47	2.35	2.24
	10,5 m	K'	0.43	2.58	2.47	2.36
	9.5 m	J'	0.45	2.65	2.56	2.43
	8.5 m	I'	0.49	2.60	2.53	2.45
	7.5 m	H'	0,51	2.52	2.38	2.34
	6.5 m	G'	0.41	2.09	2.03	1.99
	5,5 m	F'	0.42	2.23	2.19	2.17
	4.5 m	E'	1.54	3.05	3.19	3.11
	3.5 m	D'	1.72	3.14	3.43	3.46
	2.5 m	C'	2.95	3.85	4.48	4.54
	1.5 m	B'	9.16	8.76	9.66	9.42
	0,5 m	A'	20.45	17.74	18.41	17.60
	min			0.37	2.09	2.03
maks			21.94	20.49	21.36	20.87
rata-rata			3.30	4.59	4.82	4.70
Uniformity Ratio			0.11	0.46	0.42	0.42



Gambar 14. Daylight Factor pada Jarak 0,5 m dari Jendela



Gambar 15. Daylight factor reference (a), daylight factor CL-1 (b), daylight factor CL-2 (c)

Pada jarak 11,5 m dari jendela, nilai *daylight factor* pada variabel reference dengan sudut kolektor 40° berubah dari 0,42% menjadi 2,47%, atau meningkat sebesar 483,21% dari *basecase*. Hal ini dipengaruhi oleh sistem pencahayaan *anidolic light pipe* yang menyalurkan pencahayaan alami dari luar ruangan ke dalam ruangan. Ketika kemiringan kolektor dirubah menjadi 50° (variabel CL-1), nilai *daylight factor* berubah menjadi 2,37%, atau turun sebesar 3,98%. Hal ini dikarenakan distribusi cahaya yang melewati kolektor kemudian dipantulkan pada saluran *anidolic* berkurang setelah kemiringan kolektor dirubah menjadi 50°. Ketika kemiringan kolektor dirubah menjadi 60° (variabel CL-2), nilai *daylight factor* berubah menjadi 2,24%, atau turun sebesar 9,55%. Sehingga Sehingga ketika kemiringan kolektor dinaikkan setiap 10°, maka jumlah distribusi pencahayaan alami yang masuk ke dalam ruangan juga turun sebesar 2,3%.

Pada jarak 0,5 m dari jendela, nilai *daylight factor* pada variabel reference dengan sudut kolektor 40° berubah dari 21,94% menjadi 20,49%, atau menurun sebesar 6,58% dari *basecase*. Hal ini dipengaruhi oleh kolektor *anidolic* yang dipasang pada fasad bangunan mampu menurunkan nilai iluminasi pada area selubung bangunan. Ketika sudut

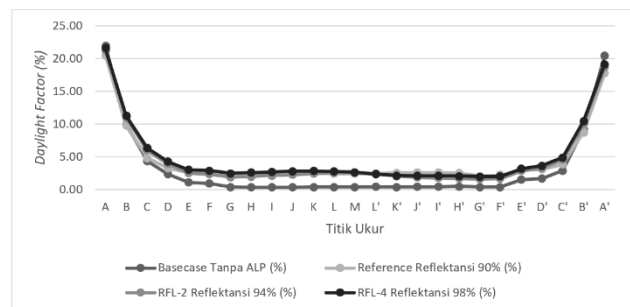
kemiringan kolektor dirubah menjadi 50°, *daylight factor* mengalami penurunan sebesar 4,85%. Ketika sudut kemiringan kolektor dirubah menjadi 60°, *daylight factor* mengalami penurunan sebesar 2,62%.

3.3 Pengaruh Material *Anidolic Light Pipe* terhadap Distribusi Pencahayaan Alami

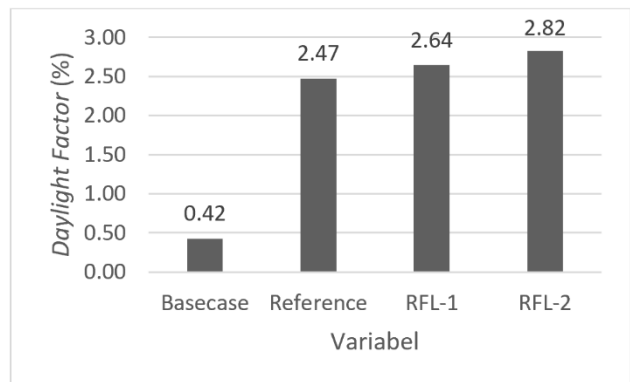
Material *anidolic light pipe* merupakan salah satu komponen pada perangkat *anidolic light pipe* yang berpengaruh terhadap distribusi pencahayaan alami ke dalam ruangan. Dengan bantuan *software radiance*, peneliti mencoba menyimulasikan 4 variabel bebas, antara lain:

- Kasus *basecase*, kondisi gedung tanpa *anidolic light pipe*.
- Kasus *reference*, desain saluran *anidolic light pipe* mengacu pada saluran yang diteliti sebelumnya pada model eksperimen maket dengan reflektansi material *anidolic* sebesar 90%.
- Kasus 1 (RFL-1), reflektansi material 94%.
- Kasus 2 (RFL-2), reflektansi material 98%.

Adapun hasil simulasi dengan menggunakan *software radiance* dijabarkan pada Tabel 3 dan grafik 16-19.



Gambar 16. Grafik Hasil Simulasi Desain Saluran *Anidolic Light Pipe*



Gambar 17. Daylight Factor pada Jarak 11,5 m dari Jendela

Tabel 3. Hasil Simulasi Desain Reflektansi Material Anidolic Light Pipe

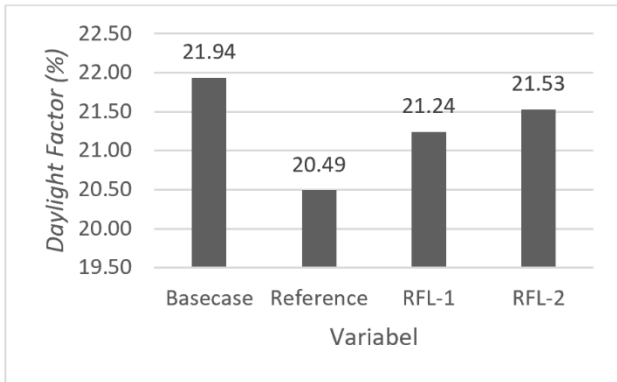
Sisi Jendela	Jarak dari Jendela (m)	Basecase Tanpa ALP (%)	Reference Reflektansi 90% (%)	RFL-2 Reflektansi 94% (%)	RFL-4 Reflektansi 98% (%)
Utara	0,5 m	21.94	20.49	21.24	21.53
	1.5 m	9.99	9.80	11.01	11.30
	2.5 m	4.38	4.82	5.98	6.34
	3.5 m	2.40	3.32	3.96	4.32
	4.5 m	1.10	2.61	2.56	3.00
	5,5 m	0.98	2.53	2.39	2.91
	6.5 m	0.42	2.36	1.92	2.49
	7.5 m	0.37	2.49	2.00	2.63
	8.5 m	0.37	2.54	2.18	2.70
	9.5 m	0.41	2.58	2.27	2.86
	10,5 m	0.42	2.52	2.48	2.89
	11,5 m	0.42	2.47	2.64	2.82
	12.5 m	0.43	2.45	2.60	2.67
Selatan	11,5 m	0.44	2.47	2.43	2.39
	10,5 m	0.43	2.58	2.08	2.18
	9.5 m	0.45	2.65	1.85	2.15
	8.5 m	0.49	2.60	1.75	2.15
	7.5 m	0,51	2.52	1.68	2.08
	6.5 m	0.41	2.09	1.58	2.00
	5,5 m	0.42	2.23	1.67	2.06
	4.5 m	1.54	3.05	2.89	3.24
	3.5 m	1.72	3.14	3.32	3.65
	2.5 m	2.95	3.85	4.60	4.92
	1.5 m	9.16	8.76	10.01	10.40
	0,5 m	20.45	17.74	18.66	19.14
		min	0.37	2.09	1.58
	maks	21.94	20.49	21.24	21.53
	rata-rata	3.30	4.59	4.63	4.99
	Uniformity Ratio	0.11	0.46	0.34	0.40

Gambar 16 menunjukkan nilai *daylight factor* terhadap titik ukur yang diletakkan paling dekat 0.5 m (titik A) dari jendela, dan paling jauh 12.5 m (titik M) dari jendela. Dari grafik tersebut terlihat nilai *daylight factor* pada jarak 0.5 m dari jendela mengalami peningkatan ketika material saluran *anidolic* ditingkatkan reflektansinya menjadi 90% dan 98%. Sedangkan pada titik terjauh dari jendela, nilai *daylight factor* juga mengalami peningkatan ketika material saluran *anidolic* ditingkatkan reflektansinya menjadi 90% dan 98%.

Pada jarak 11,5 m dari jendela, nilai *daylight factor* pada variabel *reference* dengan reflektansi material 90% berubah dari 0.42% menjadi 2.47%, atau meningkat sebesar 483,21% dari basecase.

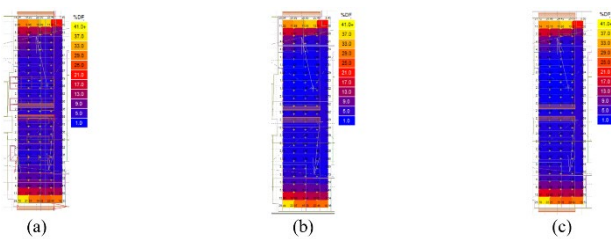
Ketika sistem pencahayaan *anidolic light pipe* menggunakan material dengan reflektansi 94% (variabel RFL-1), maka *daylight factor* mengalami peningkatan sebesar 6,85% dari kasus *reference*. Ketika sistem pencahayaan *anidolic light pipe* menggunakan material dengan reflektansi 98% (variabel RFL-2), maka *daylight factor* mengalami peningkatan sebesar 14,17% dari kasus *reference*.

Dengan menaikkan reflektansi material sebesar 1%, maka kinerja sistem pencahayaan *anidolic light pipe* mengalami kenaikan sebesar 1,77%. Semakin tinggi reflektansi material, maka kinerja sistem pencahayaan *anidolic light pipe* juga semakin tinggi.



Gambar 18. Daylight Factor pada Jarak 0,5 m dari Jendela

Pada jarak 0,5 m dari jendela, nilai *daylight factor* pada variabel reference dengan reflektansi material 90% berubah dari 21,94% menjadi 20,49%, atau menurun sebesar 6,58% dari basecase. Ketika sistem pencahayaan *anidolic light pipe* menggunakan material dengan reflektansi 94% (variabel RFL-1), maka *daylight factor* mengalami penurunan sebesar 3.16% dari kasus basecase. Ketika sistem pencahayaan *anidolic light pipe* menggunakan material dengan reflektansi 98% (variabel RFL-2), maka *daylight factor* mengalami penurunan sebesar 1,86% dari kasus *basecase*.



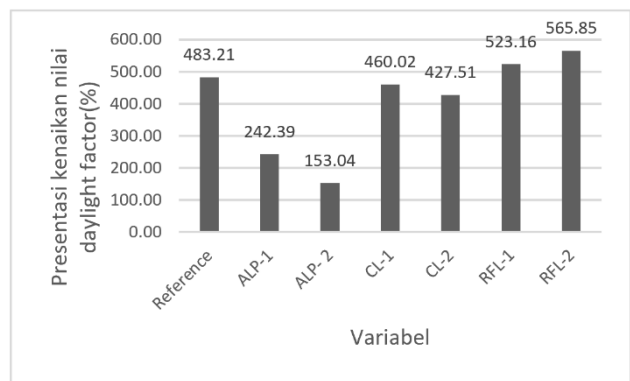
Gambar 18. Daylight factor reference (a), daylight factor RFL-1 (b), daylight factor RFL-2 (c)

3.4 Modifikasi Desain Saluran, Kolektor, dan Material *Anidolic Light Pipe* terhadap Distribusi Pencahayaan Alami pada Ruang Kerja Gedung Menara Bosowa Makassar

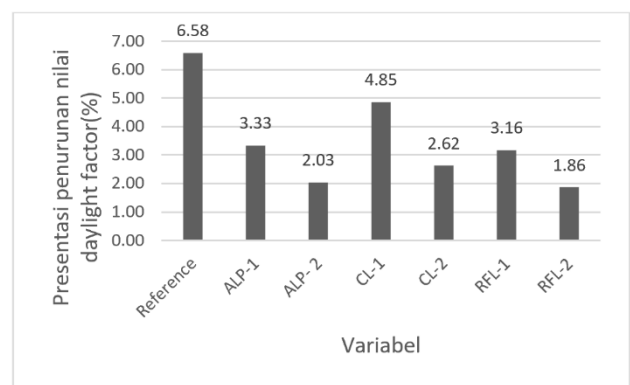
Gambar 20 menunjukkan presentasi kenaikan nilai *daylight factor* dari kasus *basecase* / tanpa pemasangan *anidolic* pada jarak 11,5 m dari jendela.

Untuk kategori modifikasi desain saluran, variabel reference / saluran *anidolic* dengan lebar 5 m

menunjukkan presentasi kenaikan yang lebih besar dibandingkan variabel ALP-1 dengan lebar saluran 3 m dan variabel ALP-2 dengan lebar saluran 1 m. Untuk kategori modifikasi desain kolektor, variabel reference / saluran *anidolic* dengan sudut kolektor 40o menunjukkan presentasi kenaikan yang lebih besar dibandingkan variabel CL-1 dengan sudut kolektor 50o dan variabel CL-2 dengan sudut kolektor 60o. Untuk kategori modifikasi material, variabel RFL-2 dengan reflektansi material 98% menunjukkan presentasi kenaikan yang lebih besar dibandingkan



Gambar 20. Presentasi kenaikan nilai *daylight factor* pada jarak 11.5 m dari jendela



Gambar 21. Presentasi penurunan nilai *daylight factor* pada jarak 0,5 m dari jendela

Gambar 21 menunjukkan presentasi penurunan nilai *daylight factor* dari kasus *basecase* / tanpa pemasangan *anidolic* pada jarak 0,5 m dari jendela. Untuk kategori modifikasi desain saluran, variabel reference / saluran *anidolic* dengan lebar 5 m menunjukkan presentasi penurunan yang lebih besar dibandingkan variabel ALP-1 dengan lebar saluran 3 m dan variabel ALP-2 dengan lebar saluran 1 m. Untuk kategori modifikasi desain kolektor, variabel reference / saluran *anidolic* dengan sudut kolektor 40°

menunjukkan presentasi penurunan yang lebih besar dibandingkan variabel CL-1 dengan sudut kolektor 50° dan variabel CL-2 dengan sudut kolektor 60°. Untuk kategori modifikasi material, variabel reference dengan reflektansi material 90% menunjukkan presentasi penurunan yang lebih besar dibandingkan variabel RFL-1 dengan reflektansi material 94% dan variabel RFL-2 dengan reflektansi material 98%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan terhadap desain sistem pencahayaan *anidolic light pipe*, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi desain saluran, kolektor, dan material reflektif memiliki pengaruh yang signifikan terhadap distribusi pencahayaan alami di dalam ruangan. Desain saluran *anidolic* dengan lebar 5 meter terbukti memberikan distribusi cahaya yang paling merata dan efisien dibandingkan dengan saluran yang lebih kecil

(3 meter dan 1 meter), di mana penurunan lebar saluran menyebabkan penurunan *daylight factor*, terutama di bagian terdalam ruangan. Pada desain kolektor, sudut bukaan 40° memberikan performa terbaik dalam menyalurkan cahaya alami, sementara peningkatan sudut bukaan hingga 50° dan 60° justru menurunkan efektivitas distribusi cahaya. Sementara itu, pada komponen material, peningkatan reflektansi dari 90% menjadi 94% dan 98% berbanding lurus dengan peningkatan *daylight factor* di dalam ruang, menunjukkan bahwa semakin tinggi reflektansi material, semakin besar pula efisiensi distribusi pencahayaan alami yang dapat dicapai. Secara keseluruhan, penerapan sistem *anidolic light pipe* dengan konfigurasi optimal dapat meningkatkan *daylight factor* dibandingkan kondisi tanpa sistem tersebut. Dengan demikian, hipotesis penelitian terkonfirmasi bahwa semakin besar lebar saluran, semakin tepat sudut kolektor, dan semakin tinggi reflektansi material, maka kualitas distribusi pencahayaan alami semakin meningkat

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Woo, P. MacNaughton, J. Lee, B. Tinianov, U. Satish, and M. Boubekri, "Access to Daylight and Views Improves Physical and Emotional Wellbeing of Office Workers: A Crossover Study," *Frontiers in Sustainable Cities*, vol. 3, 2021, doi: 10.3389/frsc.2021.690055.
- [2] P. MacNaughton, M. Woo, B. Tinianov, M. Boubekri, and U. Satish, "Economic Implications of Access to Daylight and Views in Office Buildings From Improved Productivity," *Journal of Applied Social Psychology*, vol. 51, no. 12, pp. 1176-1183, 2021, doi: 10.1111/jasp.12764.
- [3] F. F. A. Munir, A. R. Sopian, N. H. Zulkifli, M. Mansor, and P. H. Ibrahim, "Biophilic Design Elements Preferences Among Government Officers in Putrajaya, Malaysia," *Planning Malaysia*, vol. 22, 2024, doi: 10.21837/pm.v22i34.1649.
- [4] A. Thongtha, P. Laphom, and J. Mahawan, "Investigation of the Efficacy of Horizontal Hollow Light Tubes for Energy Conservation in Illuminating Buildings," *Energies*, vol. 16, no. 22, p. 7545, 2023, doi: 10.3390/en16227545.
- [5] F. Yilmaz, "Lighting Energy Performance Determination in Office Environments Through Implementation of EN 15193-1 for Turkey," *Lighting Research & Technology*, vol. 53, no. 8, pp. 749-776, 2021, doi: 10.1177/1477153520987420.
- [6] W. Gao, D. Jin, Q. Wang, and P. Zhu, "Integrating User-Centered Design and Biophilic Design to Improve Biophilia and Intelligentization in Office Environments," *Buildings*, vol. 13, no. 7, p. 1687, 2023, doi: 10.3390/buildings13071687.
- [7] Q. Lei, S. S. Y. Lau, C. Yuan, and Y. Qi, "Post-Occupancy Evaluation of the Biophilic Design in the Workplace for Health and Wellbeing," *Buildings*, vol. 12, no. 4, p. 417, 2022, doi: 10.3390/buildings12040417.
- [8] E. E. Atamewan, "Appraisal of Day-Lighting in Sustainable Housing Development in Developing Countries," *Journal of Studies in Science and Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 59-75, 2022, doi: 10.53898/josse2022225.
- [9] A. A. S. Bahdad, S. F. S. Fadzil, and N. Taib, "Optimization of Daylight Performance Based on Controllable Light-Shelf Parameters Using Genetic Algorithms in the Tropical Climate of Malaysia," *Journal of Daylighting*, vol. 7, no. 1, pp. 122-136, 2020, doi: 10.15627/jd.2020.10.
- [10] M. Boubekri *et al.*, "The Impact of Optimized Daylight and Views on the Sleep Duration and Cognitive Performance of Office Workers," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 9, p. 3219, 2020, doi: 10.3390/ijerph17093219.
- [11] L. K. S. Uehara and A. s. L. Schmid, "Daylighting Evaluation in Deep Plan Office Buildings With OPV Windows Through Simulation on Radiance," *Acta Scientiarum Technology*, vol. 44, p. e58823, 2022, doi: 10.4025/actascitechnol.v44i1.58823.

- [12] C. H. Y. Sern, "Integration of Shading Device and Semi-Circle Horizontal Light Pipe Transporter for High-Rise Office Building in Tropical Climate," *Environmental Research Engineering and Management*, vol. 77, no. 4, pp. 122-131, 2021, doi: 10.5755/j01.erem.77.4.29942.
- [13] C. H. Y. Sern, L. T. K. Liou, and S. F. S. Fadzil, "Daylighting Performance of Integrated Light Shelf With Horizontal Light Pipe System for Deep Plan High-Rise Office in Tropical Climate," *Journal of Daylighting*, vol. 9, no. 1, pp. 83-96, 2022, doi: 10.15627/jd.2022.6.
- [14] A. Eltaweel, Y. Su, Q. Lv, and H. Lv, "Advanced Parametric Louver Systems With Bi-Axis and Two-Layer Designs for an Extensive Daylighting Coverage in a Deep-Plan Office Room," *Solar Energy*, vol. 206, pp. 596-613, 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.06.035.
- [15] A. Eltaweel, Y. Su, M. A. Mandour, and O. O. Elrawy, "A Novel Automated Louver With Parametrically-Angled Reflective Slats; Design Evaluation for Better Practicality and Daylighting Uniformity," *Journal of Building Engineering*, vol. 42, p. 102438, 2021, doi: 10.1016/j.job.2021.102438.
- [16] A. G. Olabi, M. Mahmoud, S. Alzubaidi, and M. A. Abdelkareem, "Study on Improving the Energy Efficiency of a Building: Utilization of Daylight Through Solar Film Sheets," *Energies*, vol. 16, no. 21, p. 7370, 2023, doi: 10.3390/en16217370.
- [17] R. A. Mangkuto *et al.*, "Design Optimisation of Fixed and Adaptive Shading Devices on Four Façade Orientations of a High-Rise Office Building in the Tropics," *Buildings*, vol. 12, no. 1, p. 25, 2021, doi: 10.3390/buildings12010025.
- [18] F. Elsiana, S. N. N. Ekasiwi, and I. G. N. Antaryama, "Daylight Performance of Horizontal Light Pipe and Shading Systems in Office Room With Bilateral Opening," *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 1281, no. 1, p. 012056, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1281/1/012056.
- [19] A. A. S. Bahdad, S. F. S. Fadzil, H. O. Onubi, and S. A. BenLasod, "Balancing Daylight in Office Spaces With Respect to the Indoor Thermal Environment Through Optimization of Light Shelves Design Parameters in the Tropics," *Indoor and Built Environment*, vol. 31, no. 7, pp. 1963-1985, 2022, doi: 10.1177/1420326x221086537.
- [20] S. Daich, M. Y. Saadi, B. Piga, and A. M. Daiche, "A combined method for an exhaustive investigation of the anidolic ceiling effect on improving indoor office daylight quality: an approach based on HDR photography and subjective evaluations," *Journal of Daylighting*, vol. 8, no. 2, pp. 149-164, 2021.
- [21] L. Wong, "A review of daylighting design and implementation in buildings," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, pp. 959-968, 2017.
- [22] A. H. Merghani and S. A. Bahloul, "Comparison between radiance daylight simulation software results and Measured on-site data," *Journal of Building and Road Research*, vol. 20, 2016.
- [23] A. Mangione, B. Mattoni, F. Bisegna, D. Iatauro, and M. Zinzi, "On the validity of daylight factor for evaluating the energy performance of building," in *2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*, 2018: IEEE, pp. 1-4.



© 2025 the Author(s), licensee Jurnal LINEARS. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)