

**PENGARUH KINERJA SISTEM PENCAHAYAAN ANIDOLIC LIGHT PIPE
TERHADAP DISTRIBUSI PENCAHAYAAN ALAMI
PADA GEDUNG KANTOR**

(Studi Kasus : Gedung Menara Bosowa Makassar)

***THE EFFECT OF ANIDOLIC LIGHT PIPE DAYLIGHTING SYSTEM
PERFORMANCE ON NATURAL LIGHTING DISTRIBUTION
IN OFFICE BUILDING***

(Case Study : Bosowa Makassar Tower Building)

Oleh

PUSPITA UTARI

D042202010



**MAGISTER ARSITEKTUR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PENGARUH KINERJA SISTEM PENCAHAYAAN ANIDOLIC LIGHT PIPE
TERHADAP DISTRIBUSI PENCAHAYAAN ALAMI
PADA GEDUNG KANTOR**

(Studi Kasus : Gedung Menara Bosowa Makassar)

***THE EFFECT OF ANIDOLIC LIGHT PIPE DAYLIGHTING SYSTEM
PERFORMANCE ON NATURAL LIGHTING DISTRIBUTION
IN OFFICE BUILDING***

(Case Study : Bosowa Makassar Tower Building)

Oleh

PUSPITA UTARI

D042202010



**MAGISTER ARSITEKTUR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PENGARUH KINERJA SISTEM PENCAHAYAAN *ANIDOLIC LIGHT PIPE*
TERHADAP DISTRIBUSI PENCAHAYAAN ALAMI
PADA GEDUNG KANTOR
(Studi Kasus : Gedung Menara Bosowa Makassar)**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Arsitektur

Disusun dan Diajukan Oleh

Puspita Utari

Kepada

**MAGISTER ARSITEKTUR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

HALAMAN PENGESAHAN TESIS

**PENGARUH KINERJA SISTEM PENCAHAYAAN ANIDOLIC LIGHT PIPE
TERHADAP DISTRIBUSI PENCAHAYAAN ALAMI
PADA GEDUNG KANTOR
(Studi Kasus : Gedung Menara Bosowa Makassar)**

Disusun dan diajukan oleh

**PUSPITA UTARI
Nomor Pokok D042202010**

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 11 Januari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasihat



Prof. Ir. Baharuddin, ST., M.Arch., Ph.D

Ketua



Dr. Ir. Nurul Jamala B., MT

Anggota

Ketua Program Studi
Magister Teknik Arsitektur,



Dr. Eng. Ir. Asniawaty, ST., MT

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Puspita Utari
Nomor Mahasiswa : D042202010
Program Studi : Teknik Arsitektur

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Januari 2023

Yang menyatakan,


Puspita Utari

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, Maha Suci, Maha mulia, Maha pemberi petunjuk atas berkat dan rahmat-Nya serta ilmu-Nya. Shalawat dan salam senantiasa terhaturkan kepada Nabiullah Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabat yang telah menuntun umatnya dari lembah kehinaan menuju puncak kebahagiaan, dari gelapnya kebodohan menuju ilmu yang terang benderang, dari kesesatan menuju islam yang rahmatan lil alamin.

Betapapun besar usaha yang dilakukan apabila tanpa kehendak-Nya maka suatu pekerjaan tidak dapat terselesaikan dengan baik. Begitu pula dengan tesis penelitian ini, atas kehendak dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis penelitian ini dengan judul **“Pengaruh Kinerja Sistem Pencahayaan Anidolic Light Pipe Terhadap Distribusi Pencahayaan Alami pada Gedung Kantor (Studi Kasus : Gedung Menara Bosowa Makassar)”** sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Arsitektur (M.Ars) di Pascasarjana Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, penulis akan kesulitan dalam menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih dan penghormatan setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan sehingga Tesis Penelitian ini dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada :

1. Bunda dan Ayahanda penulis, Ibu **Cita Ria Datu, M.Pd** dan Bapak **M. Anwar, S.Pd** atas segala kebaikan, kesabaran dan dukungan yang tiada henti kepada penulis, semoga senantiasa dalam lindungan Allah SWT./
2. Suami penulis, **Juil, ST** yang setia menemani dan atas segala kebaikan, kesabaran, dan motivasi yang tiada henti kepada penulis, dan ananda **Khalid Abdullah** dan **Hasan Abdurrahman** yang

menjadi penyemangat. Semoga senantiasa dalam lindungan Allah SWT.

3. Bapak **Prof. Ir. Baharuddin, ST, M. Arch, Ph. D** dan Ibu **Dr. Ir. Nurul Jamala B., MT** selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu dalam kesibukannya, memberi arahan dengan sabar dan bijak. Semoga senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
4. Bapak **Dr. Eng. Rosady Mulyadi, ST., MT**, Ibu **Dr. Eng. Ir. Hj. Asniawaty , ST., MT** dan Ibu **Ir. Ria Wikantari R. M. Arch. Ph. D** selaku dosen penguji yang telah memberikan saran serta arahan dengan sabar dan bijak. Semoga senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
5. Ibu **Dr. Eng. Ir. Hj. Asniawaty , ST., MT.** selaku ketua prodi Pascasarjana Arsitektur Universitas Hasanuddin atas nasehat dan dukungannya kepada penulis. Semoga senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
6. Segenap **dosen** dan **staf Jurusan Teknik Arsitektur Univesitas Hasanuddin** atas ilmu, dukungan dan bantuannya kepada penulis. Semoga senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
7. **Keluarga besar** penulis yang telah memberikan banyak dukungan dan motivasi kepada penulis. Semoga senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
8. Karyawan dan Karyawati **PT. Bosowa Propertindo** atas segala bantuan selama penelitian. Semoga dimudahkan segala urusan dan senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
9. Teman-teman **Lab Teknologi** dan **Sains angkatan 2022** atas segala dukungan, bantuan dan motivasi kepada penulis. Semoga dimudahkan segala urusan dan senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
10. Teman-teman Pascasarjana **Arsitektur angkatan 2022** atas bantuan dan dukungannya kepada penulis.

Serta semua pihak yang telah memberi saran, dukungan dan motivasi, yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Penulis menyadari

bahwa dalam penulisan tesis penelitian ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik, saran, bimbingan dan arahan dari semua pihak kepada penulis sangat diharapkan demi tercapainya penulisan tesis penelitian yang lebih baik dan dapat bermanfaat bagi pembaca.

Makassar, Desember 2022

Penulis

ABSTRAK

PUSPITA UTARI. **Pengaruh Kinerja Sistem Pencahayaan *Anidolic Light Pipe* terhadap Distribusi Pencahayaan Alami pada Gedung Kantor Studi Kasus : Gedung Menara Bosowa Makassar** (dibimbing oleh Baharuddin Hamzah dan Nurul Jamala)

Menghasilkan cahaya matahari yang tersedia pada gedung merupakan isu penting untuk alasan efisiensi energi serta peningkatan kesehatan pengguna ruang. Kualitas pencahayaan pada ruang kantor merupakan konsep yang harus diperhitungkan untuk menciptakan ruang yang nyaman bagi pekerja. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti intensitas pencahayaan alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar, dan mengaplikasikan alternatif sistem pencahayaan alami *anidolic light pipe* dalam mengurangi nilai iluminasi pada area selubung bangunan dan meningkatkan nilai iluminasi pada area yang lebih dalam dari selubung bangunan. Penelitian menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan pengumpulan data berupa kuisioner pada pengguna ruang kantor, pengukuran pada kondisi eksisting ruang kerja, pengukuran kinerja *anidolic light pipe* pada model skala fisik 1:15, dan simulasi variabel komponen *anidolic light pipe* dengan bantuan perangkat lunak *radiance*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengguna ruang kerja merasa pencahayaan alami tidak menerangi seluruh ruang. Area selubung bangunan pada sisi selatan dan utara gedung menunjukkan nilai iluminasi berlebih terutama pada kondisi langit cerah. Sedangkan pada area yang lebih dalam dari bangunan cukup gelap karena tidak mendapatkan pencahayaan alami yang cukup. Uji kinerja *anidolic light pipe* dengan simulasi model skala fisik 1:15 pada kondisi langit mendung menunjukkan sistem pencahayaan ini mampu menurunkan nilai iluminasi sebesar 15,01% atau menjadi 1809 lux pada jarak 0,5 m dari jendela, dan mampu meningkatkan nilai iluminasi sebesar 394,92% atau menjadi 351 lux pada jarak 11,5 m dari jendela. Dari hasil simulasi *radiance*, komponen berupa desain saluran, kolektor, dan material *anidolic light pipe* berpengaruh terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kerja.

Kata kunci : pencahayaan alami, *anidolic light pipe*, gedung kantor

ABSTRACT

PUSPITA UTARI. **The Effect of Anidolic Light Pipe Daylighting System Performance on Natural Ligthing Distribution in Office Building Case Study : Bosowa Makassar Tower Building** (supervised by Baharuddin Hamzah and Nurul Jamala)

Producing available daylight in buildings is an important issue for reasons of energy-efficiency. The quality of daylight in office space is a concept that must be taken into account to create a comfortable space for workers. This research aims to examine intensity of natural lighting in the workspace of Bosowa Makassar Tower Building, and apply daylighting system Anidolic Light Pipe (ALP) in reducing the illumination value in the building casing area and increasing the illumination value in the deeper area. The research used quantitative methods by collecting data of questionnaires on office space users, measurements the existing conditions of the workspace, measuring the performance of ALP on a physical model, and simulating variabels of ALP components with the help of radiance software. The results showed that workspace users felt that natural lighting didn't illuminate the entire space. The sheath area of the building on the south and north sides shows excess illumination values, especially in clear sky conditions. Meanwhile, the deeper area of the building is quite dark because it doesn't get enough natural lighting. ALP performance tests with physical scale model simulation in overcast sky condition showed that this lighting system was able to reduce the illumination value by 15,01% or 1809 lux at a distance 0,5 m from window, and was able to increase the illumination value by 394.92% or 351 lux at a distance 11,5 m from window. From the results of the radiance simulation, components of pipe design, collector, and ALP material affect the distribution of natural lighting in the workspace.

Keywords : natural lighting, anidolic light pipe, office building

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah.....	4
1.3.Tujuan Penelitian.....	4
1.4.Manfaat Penelitian.....	5
1.5.Batasan dan Lingkup Penelitian	5
1.6.Sistematika Penulisan	5
BAB II.....	7
KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1.Pencahayaaaan.....	7
2.1.1 Pencahayaaaan Alami	7
2.1.2 Manfaat Pencahayaaaan Alami	8
2.1.3 Sumber Pencahayaaaan Alami	8
2.1.4 Kondisi Langit.....	9

2.1.5	Kondisi Langit Makassar dengan Rasio Awan dan Data Lama Penyinaran Matahari	14
2.1.6	Faktor Pencahayaan Alami	15
2.1.7	Pencahayaan Alami dalam SNI 03-2396-2001	18
2.1.8	Pencahayaan Alami pada Bangunan	19
2.1.9	Faktor yang berpengaruh terhadap kenyamanan visual	20
2.1.10	Silau	21
2.1.11	Pengaruh Pencahayaan pada Aktivitas Kerja	24
2.2	Sistem Pencahayaan.....	24
2.2.1	Sistem Pencahayaan dengan <i>Shading</i>	24
2.2.2	Sistem Pencahayaan tanpa <i>Shading</i>	25
2.2.3	Pemilihan Sistem Pencahayaan.....	25
2.2.4	<i>Anidolic Light Pipe</i>	27
2.2.5	<i>Anidolic Light Pipe</i> pada Iklim Tropis.....	35
2.3	Penelitian Terdahulu.....	38
2.4	Kerangka Pikir	46
BAB III.....		47
METODE PENELITIAN.....		47
3.1.	Rancangan Penelitian	47
3.2.	Waktu dan Lokasi Penelitian	48
3.3.	Instrumen Penelitian.....	53
3.4.	Populasi dan Sampel.....	55
3.5.	Teknik Pengumpulan Data	56
3.6.	Variabel Penelitian.....	57
3.7.	Teknik Analisis Data	59
3.8.	Defenisi Operasional	60

3.9.Langkah Penelitian	60
3.10. Uji Keabsahan Data.....	64
3.11. Alur Penelitian	65
BAB IV	66
HASIL DAN PEMBAHASAN	66
4.1 Persepsi Pengguna Ruang dan Gambaran Umum Distribusi Pencahayaannya Alami pada Ruang Kerja Gedung Menara Bosowa Makassar	66
4.1.1 Hasil kuisisioner persepsi pengguna ruang terhadap distribusi pencahayaannya alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar.....	66
4.1.2 Gambaran Umum Distribusi Pencahayaannya Alami pada Ruang Kerja Gedung Menara Bosowa Makassar	72
4.2.Kinerja Sistem Pencahayaannya <i>Anidolic Light Pipe</i> dalam Mengurangi Nilai iluminasi pada Area Selubung Bangunan di Ruang Kerja Gedung Menara Bosowa Makassar	91
4.2.1 Hasil Pengukuran Pencahayaannya Alami Eksperimen <i>Anidolic</i> pada Simulasi Maket.	91
4.2.2 Uji hipotesis hasil pengukuran pencahayaannya alami eksperimen <i>anidolic</i> pada simulasi maket	103
4.2.3 Kinerja Sistem Pencahayaannya <i>Anidolic Light Pipe</i> dalam Mengurangi Nilai iluminasi Pada Area Selubung Bangunan.	105
4.3 Kinerja Sistem Pencahayaannya <i>Anidolic Light Pipe</i> dalam Meningkatkan Nilai iluminasi pada Area yang Lebih Dalam dari Selubung Bangunan	107
4.4 Pengaruh Desain Saluran, Kolektor, dan Material <i>Anidolic Light Pipe</i> terhadap Distribusi Pencahayaannya Alami pada Ruang Kerja Gedung Menara Bosowa Makassar	109

4.4.1	Pengaruh desain saluran <i>anidolic light pipe</i> terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar.....	111
4.4.2	Pengaruh desain kolektor <i>anidolic light pipe</i> terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar	116
4.4.3	Pengaruh material <i>anidolic light pipe</i> terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar.....	122
4.4.4	Uji validasi pengukuran dan hasil simulasi	125
4.4.5	Kesimpulan modifikasi saluran, kolektor, dan material <i>anidolic light pipe</i> terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar	127
BAB V	129
KESIMPULAN DAN SARAN	129
4.5	Kesimpulan.....	129
4.6	Saran.....	130
Daftar Pustaka	131
LAMPIRAN	134

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai relative luminansi langit mendung	10
Tabel 2. Nilai relative luminansi langit cerah.....	11
Tabel 3. Nilai relative luminansi langit berawan	13
Tabel 4. Tingkat Pencahayaan Rata-Rata yang Direkomendasikan.....	19
Tabel 5. Nilai indeks kesilauan maksimum (G _{lmax}) untuk berbagai tugas visual dan interior	23
Tabel 6. Penelitian Terdahulu	42
Tabel 7. Data Primer.....	57
Tabel 8. Model Referensi Anidolic Light Pipe.....	58
Tabel 9. Defenisi Operasional.....	60
Tabel 10. Uji validitas kuesioner	67
Tabel 11. Uji reabilitas kuesioner	67
Tabel 12. Karakteristik responden	68
Tabel 13. Frekuensi pegawai merasa nyaman bekerja pada kondisi pencahayaan alami saat ini (P1)	68
Tabel 14. Frekuensi pegawai mengalami gangguan visual akibat pencahayaan alami yang masuk dalam ruangan (P2)	69
Tabel 16. Frekuensi cahaya alami masuk berlebih ke dalam ruangan dekat jendela (P4)	70
Tabel 17. Frekuensi ruang kerja tidak silau (P5).....	70
Tabel 21. Hasil pengukuran ruang private office pada pagi hari pkl. 09:00	74
Tabel 22. Hasil pengukuran ruang private office pada siang hari pkl. 12:00	75
Tabel 24. Hasil pengukuran ruang open plan office pada pagi hari pkl. 09:00	80
Tabel 25. Hasil pengukuran ruang open plan office pada siang hari pkl. 12:00	82
Tabel 26. Hasil pengukuran ruang open plan office pada sore hari pkl. 15:00	84

Tabel 27. Hasil pengukuran ruang <i>private office</i> pada pagi hari pkl. 09:00	86
Tabel 28. Hasil pengukuran ruang <i>private office</i> 2 pada siang hari pkl 12:00	88
Tabel 29. Hasil pengukuran ruang <i>private office</i> 2 pada siang hari pkl. 15:00	89
Tabel 30. Konfigurasi model eksperimen anidolic.....	92
Tabel 31. Nilai iluminasi pengukuran model eksperimen tanpa anidolic .	95
Tabel 32. Nilai iluminasi pengukuran model eksperimen dengan anidolic	96
Tabel 33. Intensitas pencahayaan pada kondisi nilai iluminasi langit paling rendah	98
Tabel 34. Intensitas pencahayaan pada kondisi nilai iluminasi langit paling tinggi.....	99
Tabel 35. Nilai iluminasi sebelum dan sesudah eksperimen	103
Tabel 36. Hasil uji hipotesis paired (t) test pre-post dengan menggunakan software Microsoft Excel.....	104
Tabel 37. Nilai iluminasi sebelum dan sesudah eksperimen	104
Tabel 38. Hasil uji hipotesis paired (t) test pre-post dengan menggunakan software Microsoft Excel.....	105
Tabel 39. Nilai intensitas pencahayaan pada sensor 1 dan sensor 6 pada kondisi cahaya langit diffuse.....	105
Tabel 40. Rata-rata nilai intensitas pencahayaan pada sensor 3 dan sensor 4.....	107
Tabel 41. Pengaruh anidolic light pipe terhadap intensitas pencahayaan	108
Tabel 42. Detail model reference anidolic light pipe.....	109
Tabel 43. Hasil simulasi desain saluran anidolic light pipe	112
Tabel 44. Hasil simulasi variasi bentuk permukaan saluran anidolic	115
Tabel 45. Hasil simulasi desain kolektor anidolic light pipe.....	117
Tabel 46. Hasil simulasi desain ketebalan kaca penutup kolektor anidolic light pipe	120

Tabel 47. Hasil simulasi desain kolektor anidolic light pipe.....	121
Tabel 48. Hasil simulasi desain material anidolic light pipe	122
Tabel 49. Validasi data hasil pengukuran dan hasil simulasi ruang private office 1	125
Tabel 50. Validasi data hasil pengukuran dan hasil simulasi ruang open plan office	126
Tabel 51. Validasi data hasil pengukuran dan hasil simulasi ruang private office 2.....	126

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi Kondisi Langit Berawan Total	11
Gambar 2. Ilustrasi Kondisi Langit Cerah	12
Gambar 3. Ilustrasi Kondisi Langit Berawan	13
Gambar 4. Nilai relative luminansi langit mendung (Lroc), langit cerah (Lcl), dan langit berawan (Lrin).....	13
Gambar 5. Diagram luminer, untuk PSALI	16
Gambar 6. Faktor Pencahayaan Alami	17
Gambar 7. <i>Anidolic Ceiling</i> (Szokolay, 2004:126).....	27
Gambar 8. Konstruksi Reflektor Anidolic berdasarkan prinsip edge-ray ..	28
Gambar 9. Prinsip Compound Parabolic Concentrator (CPC)	29
Gambar 10. Desain prototipe pertama dari sistem pencahayaan anidolic (zenithal anidolic collector). (a) Bagian perangkat; (b) ray tracing komponen siang hari difus melalui sistem (sinar yang dipancarkan oleh kubah langit)	30
Gambar 11. Penampang melintang dari: (a) kolektor eksternal anidolik (perangkat non-simetris 2D); (b) langit-langit anidolic dipasang di modul uji skala 1:1	31
Gambar 12. Aplikasi anidolic ceiling di EPFL Swiss	32
Gambar 13. Komponen Anidolic Integrated Ceiling	33
Gambar 14. Desain kolektor anidolic tipe 1 dan tipe 5.....	36
Gambar 15. Uji kinerja anidolic untuk 4 orientasi pada model fisik skala 9x5x3 m skala 1:10 di Malaysia.....	37
Gambar 16. Aplikasi anidolic pada orientasi timur di Yogyakarta	38
Gambar 17. Kerangka Pikir.....	46
Gambar 18. Lokasi Menara Bosowa Makassar	48
Gambar 19. Menara Bosowa Makassar.....	49
Gambar 20. Denah Lantai 3 Gedung Menara Bosowa Makassar.....	50
Gambar 21. Lokasi Penelitian.....	50
Gambar 22. Layout Lantai 3 unit B dan C Gedung Menara Bosowa Makassar.....	51
Gambar 23. Dokumentasi private office pada sisi utara dan selatan	

bangunan	51
Gambar 24. Dokumentasi area open-plan office	52
Gambar 25. Dokumentasi Lantai 3 unit B dan C Gedung Menara Bosowa Makassar.....	53
Gambar 26. Diagram instrumen pengukuran	55
Gambar 27. Populasi (a) dan Sampel (b)	56
Gambar 28. (a) Titik ukur <i>ruang private office 1</i> dan (b) Titik ukur ruang <i>private office 2</i>	62
Gambar 29. Titik Ukur pada ruang open plan office.....	62
Gambar 30. Letak titik ukur / sensor pada model fisik skala 1:15	63
Gambar 31. Kerangka Alur Penelitian.....	65
Gambar 32. Pembagian ruang pengukuran intensitas cahaya	72
Gambar 33. Denah lantai 3 sisi Timur (a) dan Titik ukur ruang private office 1 (b)	73
Gambar 34. Kondisi eksisting ruang private office 1	73
Gambar 35. Grafik interior hasil pengukuran ruang private office pada pagi hari pkl. 09:00	74
Gambar 36. Grafik distribusi pencahayaan alami ruang private office pada pagi hari pkl.09:00	75
Gambar 37. Grafik interior hasil pengukuran ruang private office pada siang hari pkl. 12:00	76
Gambar 38. Distribusi pencahayaan alami ruang private office pada siang hari pkl.12:00.....	76
Gambar 39. Grafik interior hasil pengukuran ruang private office pada sore hari pkl. 15:00.....	77
Gambar 40. Grafik distribusi pencahayaan alami ruang private office pada sore hari pkl.15:00	78
Gambar 41. Denah ruang open plan office (a) dan Titik ukur ruang open plan office (b).....	79
Gambar 42. Kondisi eksisting ruang open plan office	79
Gambar 43. Grafik interior hasil pengukuran ruang open plan office pada pagi hari pkl. 09:00	80

Gambar 44. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya dan distribusi pencahayaan alami ruang open plan office pada pagi hari pkl.09:00	81
Gambar 45. Grafik interior hasil pengukuran ruang open plan office pada pagi hari pkl. 12:00	82
Gambar 46. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya dan distribusi pencahayaan alami ruang open plan office pada pagi hari pkl.12:00	83
Gambar 47. Grafik interior hasil pengukuran ruang open plan office pada sore hari pkl. 15:00.....	84
Gambar 48. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya dan distribusi pencahayaan alami ruang open plan office pada pagi hari pkl.15:00	85
Gambar 49. Denah ruang private office 2 (a) dan Titik ukur ruang private office 2.....	86
Gambar 50. Kondisi eksisting ruang private office 2	86
Gambar 51. Grafik interior hasil pengukuran ruang private office 2 pada pagi hari pkl. 09:00	87
Gambar 52. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya dan distribusi pencahayaan alami ruang private office 2 pada pagi hari pkl.09:00.	87
Gambar 53. Grafik interior hasil pengukuran ruang private office 2 pada siang hari pkl. 12:00	88
Gambar 54. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya dan distribusi pencahayaan alami ruang private office 2 pada siang hari pkl.12:00	89
Gambar 55. Grafik interior hasil pengukuran ruang private office pada sore hari pkl. 15:00.....	90
Gambar 56. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya dan distribusi pencahayaan alami ruang private office 2 pada sore hari pkl.15:00.	90
Gambar 57. Model eksperimen anidolic.....	92
Gambar 58. Potongan anidolic light pipe	93
Gambar 59. Detail kolektor anidolic light pipe	93
Gambar 60. Denah letak disitributor dan kolektor anidolic.....	93
Gambar 61. Letak titik sensor pada maket	94
Gambar 62. Rata-rata tingkat pencahayaan dari cahaya langit pada bidang horizontal di tempat terbuka	95

Gambar 63. Grafik perbandingan keenam sensor tanpa anidolic dan dengan anidolic	96
Gambar 64. Grafik interior perbandingan intensitas pencahayaan pada kondisi nilai iluminasi langit paling rendah.....	98
Gambar 65. Grafik interior perbandingan intensitas pencahayaan pada kondisi nilai iluminasi langit paling tinggi	100
Gambar 66. Grafik interior perbandingan intensitas pencahayaan pada kondisi nilai iluminasi langit paling tinggi dan kondisi nilai iluminasi langit paling rendah	101
Gambar 67. Interior model eksperimen tanpa anidolic light pipe (a) dan dengan pemasangan anidolic light pipe (b)	102
Gambar 68. Grafik persamaan garis intensitas pencahayaan setelah dipasang anidolic light pipe	102
Gambar 69. Grafik rata-rata nilai intensitas pencahayaan pada sensor 1 dan sensor 6.....	106
Gambar 70. Grafik Rata-rata nilai intensitas pencahayaan pada sensor 3 dan sensor 4.....	107
Gambar 71. Ilustrasi model pada <i>software</i> radiance.....	110
Gambar 72. Hasil render gambar <i>software</i> radiance tanpa anidolic (a) dan dengan anidolic (b).....	111
Gambar 73. Grafik hasil simulasi desain saluran anidolic light pipe.....	113
Gambar 74. Daylight Factor pada Jarak 11,5 m dari Jendela	113
Gambar 75. Daylight Factor pada Jarak 12.5 m dari Jendela	114
Gambar 76. Variasi bentuk permukaan saluran anidolic (VAR-1).....	116
Gambar 77. Solar rays model anidolic VAR-1.....	116
Gambar 78. Grafik hasil simulasi desain saluran anidolic light pipe.....	118
Gambar 79. Daylight Factor pada Jarak 11,5 m dari Jendela	118
Gambar 80. Daylight Factor pada Jarak 0,5 m dari Jendela	119
Gambar 81. Detail kolektor lebar 69 cm (a) dan detail kolektor lebar 137 cm (b)	121
Gambar 82. Grafik Hasil simulasi desain material anidolic light pipe	123
Gambar 83. Daylight Factor pada Jarak 11,5 m dari Jendela	124

Gambar 84. Daylight Factor pada Jarak 0,5 m dari Jendela.....	124
Gambar 85. Presentasi kenaikan nilai daylight factor pada jarak 11.5 m dari jendela.....	127
Gambar 86. Presentasi penurunan nilai daylight factor pada jarak 0,5 m dari jendela.....	128

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian	135
Lampiran 2. Kuesioner Penelitian	137
Lampiran 3. Jawaban Kuesioner Penelitian	138
Lampiran 4. Kondisi Langit Saat Pengukuran Studi Kasus.....	139
Lampiran 5. Kondisi Langit Saat Pengukuran Maket	140
Lampiran 6. Daylight Factor pada Ruang Kerja Tanpa Anidolic (Basecase)	143
Lampiran 7. Daylight Factor pada Ruang Kerja Dengan Anidolic (Reference)	143
Lampiran 8. Daylight Factor pada Ruang Kerja Dengan Anidolic (ALP-1)	144
Lampiran 9. Daylight Factor pada Ruang Kerja Dengan Anidolic (ALP-2)	144
Lampiran 10. Daylight Factor pada Ruang Kerja Dengan Anidolic (CL-1)	145
Lampiran 11. Daylight Factor pada Ruang Kerja Dengan Anidolic (CL-2)	145
Lampiran 10. Daylight Factor pada Ruang Kerja Dengan Anidolic (RFL-1)	146
Lampiran 11. Daylight Factor pada Ruang Kerja Dengan Anidolic (RFL-2)	146

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencahayaan alami merupakan teknologi penerangan dinamis yang mempertimbangkan beban panas, silau, variasi dalam ketersediaan cahaya dan penetrasi cahaya matahari ke dalam sebuah bangunan (Gregg D. Ander, 2002). Pencahayaan alami dapat memberikan nilai lebih dalam suatu ruang, antara lain dapat membangun suasana ruang, efek fisik dan psikologis adalah satu kesatuan yang saling mempengaruhi dalam pencahayaan. Pencahayaan yang terlalu terang akan membuat pengguna ruang merasa terbangun dan sangat aktif. Sedangkan pencahayaan yang temaram dan redup menciptakan rasa rileks bahkan mungkin mengantuk. Hal tersebut merupakan efek psikologis dalam bentuk fisik pencahayaan (Wisnu, 2017)

Pencahayaan yang kurang memadai memberikan beban tambahan fisik ataupun psikologis bagi pengguna ruang. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya kelelahan mata dengan gejala-gejala seperti penurunan ketajaman mata, penglihatan rangkap/kabur, sakit di sekitar mata dan terjadinya kesalahan-kesalahan dalam pekerjaan ataupun terjadi kecelakaan kerja (Widowati, 2009).

Ukuran cahaya dan terang yang dibutuhkan oleh seseorang untuk beraktivitas tergantung dari jenis pekerjaan seseorang yang dilakukan di ruangan tersebut. Tingkat pencahayaan minimum yang direkomendasikan berdasarkan SNI 03-6197-2000 adalah 350 lux untuk ruang kerja, ruang rapat 300 lux, dan ruang direktur 350 lux. Setiap ruangan membutuhkan ukuran cahaya yang berbeda-beda.

Gedung Menara Bosowa Makassar merupakan salah satu *highrise building* dengan fungsi perkantoran di Kota Makassar. Gedung ini memiliki jumlah 22 lantai, dengan penamaan 23 lantai. Lantai 1 dan lantai 23 merupakan fasilitas umum, sedangkan lantai 2 – 22 merupakan fasilitas perkantoran, Lantai 1 memiliki luas $\pm 950 \text{ m}^2$ dengan tinggi jendela kaca 6 m, lantai 2-19 memiliki luas $\pm 900 \text{ m}^2$, dan lantai 20-23 memiliki luas ± 680

m² pada tiap lantai, dengan tinggi jendela kaca 1.8 m. Pada lantai 1-6, bangunan didominasi *reflective glass* 8 mm, kecuali pada sisi timur dengan dinding bata finishing cat tanpa bukaan. Sedangkan lantai 9-23, bangunan didominasi oleh *reflective glass* 8 mm di semua sisi.

Observasi dan wawancara awal yang dilakukan peneliti kepada beberapa karyawan, menunjukkan beberapa keluhan pencahayaan, seperti terdapat beberapa ruang yang sangat terang terutama pada waktu siang hari. Kondisi ini dipengaruhi oleh terang langit yang cukup mengganggu karena menimbulkan terang berlebih pada bidang kerja. Di sisi lain, terdapat beberapa ruang yang cukup gelap, terutama pada lantai 1-6 dengan dinding tanpa bukaan pada sisi timur. Hal ini tentunya dapat mengganggu aktivitas kerja. Pada lantai 3, hasil pengukuran awal menunjukkan intensitas cahaya berlebih pada area sekitar selubung bangunan. Salah satu titik ukur pada sisi selatan dekat jendela memiliki nilai iluminasi sebesar 1850 lux. Nilai iluminasi yang tinggi tersebut dipengaruhi oleh cahaya dari terang langit. Sedangkan titik ukur sejauh 11,5 m dari jendela sebesar 71 lux. Untuk itulah perlu diteliti strategi mana yang sesuai yang nantinya dapat meminimalkan terang berlebih, dan mengatasi ruang gelap dengan meneruskan distribusi pencahayaan alami ke dalam ruang.

Terdapat beberapa sistem pencahayaan yang dapat mengumpulkan dan meneruskan pencahayaan alami ke area ruang terdalam untuk meningkatkan kenyamanan visual, seperti *light pipe system*, *solar tube*, dan *anidolic integrated ceiling*. Dari ketiga sistem pencahayaan tersebut, *anidolic integrated ceiling* adalah sistem pencahayaan alami yang paling tepat yang dapat meningkatkan kenyamanan visual di ruang kantor yang dalam dan menghindari panas berlebih pada hari-hari musim panas (Daich dkk., 2021). *Anidolic integrated ceiling* berkontribusi pada tingkat pencahayaan yang memadai di ruang dalam dan mengurangi silau terutama di area yang terletak di dekat jendela oleh elemen *anidolic* eksternalnya. Performanya mencapai 12 m dari jendela ketika komponen sistem dilapisi dengan bahan

reflektansi tinggi (Daich *dkk.*, 2021). *Anidolic light pipe* (ALP) dapat mengurangi pencahayaan pada area perimeter kantor karena pengaruh *shading*, dapat meningkatkan penerangan pada area belakang kantor melalui pipa cahaya, dan mampu meningkatkan nilai keseragaman pencahayaan dalam kantor (Baharuddin, 2010). Beberapa penelitian tentang kinerja pencahayaan sistem *anidolic* di daerah tropis menunjukkan kinerja pencahayaan alami yang luar biasa dan potensinya untuk menghemat energi pencahayaan (Linhart *dkk.*, 2010). Di Malaysia, *anidolic* berkinerja baik untuk semua orientasi, tetapi kinerjanya dalam orientasi selatan lebih baik daripada orientasi lainnya (Roshan *dkk.*, 2016). Sedangkan di daerah perkotaan tropis dengan kepadatan sedang di Yogyakarta, sistem pencahayaan *anidolic* yang menghadap ke timur dapat meningkatkan kinerja pencahayaan pada ruang tamu tanpa dampak termal yang signifikan dan menunjukkan kisaran silau yang tidak terlihat (Binarti & Satwiko, 2013).

Distribusi cahaya pada bangunan gedung tergantung kondisi langit, kedalaman ruang dan posisi bangunan (Jamala *dkk.*, 2017). Untuk merancang pencahayaan alami, perlu diketahui ketersediaan cahaya alami yang diterima di lokasi bersangkutan (Rahim, 2012). Ketersediaan cahaya alami siang hari dipengaruhi oleh letak geografis dan iklim. Penelitian mengenai uji kinerja *anidolic* di Indonesia sebelumnya telah dilakukan di Yogyakarta. Yogyakarta dan Makassar berbeda dari segi letak geografis. Sehingga perlu dilakukan penelitian dengan skala model fisik, dan efektivitasnya pada bangunan dengan bantuan perangkat lunak.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang baik bagi masalah pencahayaan pada Gedung Menara Bosowa Makassar, dengan mencoba mengaplikasikan sistem pencahayaan *anidolic light pipe* pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar, dan menganalisis desain *anidolic light pipe* yang paling tepat diaplikasikan pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini, antara lain :

1. Bagaimana persepsi pengguna ruang terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar?
2. Bagaimana kinerja sistem pencahayaan *anidolic light pipe* dalam mengurangi nilai iluminasi pada area selubung bangunan di ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar?
3. Bagaimana kinerja sistem pencahayaan *anidolic light pipe* dalam meningkatkan nilai iluminasi pada area yang lebih dalam dari selubung bangunan di ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar?
4. Bagaimana pengaruh desain saluran, kolektor, dan material *anidolic light pipe* terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan dalam penelitian ini, antara lain :

1. Untuk mengetahui persepsi pengguna ruang terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar.
2. Untuk menganalisis kinerja sistem pencahayaan *anidolic light pipe* dalam mengurangi nilai iluminasi pada area selubung bangunan di ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar.
3. Untuk menganalisis kinerja sistem pencahayaan *anidolic light pipe* dalam meningkatkan nilai iluminasi pada area yang lebih dalam dari selubung bangunan di ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar.
4. Untuk menganalisis pengaruh desain saluran, kolektor, dan material *anidolic light pipe* terhadap distribusi pencahayaan alami pada ruang kerja Gedung Menara Bosowa Makassar.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Secara Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi dunia pendidikan atau sebagai bahan referensi penelitian. Menambah dan membuka wawasan pengetahuan tentang pentingnya perencanaan pencahayaan terhadap kenyamanan pengguna ruang kerja kantor.

2. Secara Praktis

- a. Penelitian ini diharapkan sebagai bahan pertimbangan dalam merancang interior ruang kerja.
- b. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada ruang kerja kantor Menara Bosowa Makassar sebagai usulan dalam mendesain sistem pencahayaan pada ruang kerja, khususnya area yang tidak mendapatkan pencahayaan alami.

1.5. Batasan dan Lingkup Penelitian

Penelitian ini berfokus pada analisis pencahayaan alami pada ruang kerja kantor dengan mengaplikasikan sistem pencahayaan *anidolic*. Lokasi penelitian difokuskan pada lantai 3 sisi timur bangunan dengan luas 300 m². Area tersebut dipilih karena berbatasan dengan dinding tanpa bukaan, yang menyebabkan tidak masuknya cahaya alami ke dalam ruang. Area tersebut juga mewakili tipikal kantor lantai 1-6 sisi timur Gedung Menara Bosowa Makassar.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tulisan ini adalah sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini akan disajikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan dan lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II Kajian Pustaka

Pada bab ini disajikan tentang teori-teori yang berhubungan dengan fakta

atau kasus yang sedang dibahas. Disamping itu juga dapat disajikan mengenai berbagai asas atau pendapat yang berhubungan dan benar-benar bermanfaat sebagai bahan untuk melakukan analisis terhadap fakta atau kasus yang sedang diteliti.

Bab III Metode Penelitian

Bab ini menyajikan secara sederhana langkah-langkah penelitian yang dilakukan, antara lain metode pendekatan masalah, spesifikasi penelitian, populasi dan metode penentuan sampel, metode pengumpulan data dan metode analisis data.

Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang hasil penelitian studi lapangan, mulai dari pembahasan data hingga hasil yang telah dianalisis.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini membahas tentang kesimpulan serta saran dari hasil akhir penelitian.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pencahayaan

2.1.1 Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami adalah pemanfaatan cahaya yang berasal dari benda penerang alam seperti matahari, bulan, dan bintang sebagai penerang ruang. Karena berasal dari alam, cahaya alami bersifat tidak menentu, tergantung pada iklim, musim, dan cuaca. Diantara seluruh sumber cahaya alami, matahari memiliki kuat sinar yang paling besar sehingga keberadaanya sangat bermanfaat dalam penerangan dalam ruang. Cahaya matahari yang digunakan untuk penerangan interior disebut dengan *daylight*. Pencahayaan alami memiliki fungsi yang sangat penting dalam karya arsitektur dan interior. Distribusi cahaya alami yang baik dalam ruang berkaitan langsung dengan konfigurasi arsitektural bangunan, orientasi bangunan, kedalaman, dan volume ruang. Oleh sebab itu, pencahayaan alami harus disebar merata dalam ruangan (Dora & Nilasari, 2011).

Pencahayaan alami adalah masuknya cahaya alami, sinar matahari langsung, dan *skylight* yang tersebar ke dalam bangunan secara terkontrol untuk mengurangi penerangan listrik dan menghemat energi. Dengan menyediakan hubungan langsung dengan pola iluminasi yang dinamis dan terus berkembang, pencahayaan alami membantu menciptakan lingkungan yang merangsang secara visual dan produktif bagi penghuni gedung, sekaligus mengurangi sepertiga dari total biaya energi gedung (Gregg D. Ander, 2002).

Meningkatkan strategi *daylighting* adalah langkah wajib untuk mencapai kenikmatan visual dan penghematan energi pada bangunan. Psiko efek fisiologis dan kinerja energi harus diselidiki untuk menentukan berbagai strategi siang hari yang berbeda, berkat perangkat siang hari dan pemodelan siang hari berbasis iklim. Optimalisasi siang hari memastikan ruangan yang lebih sehat di dalam ruangan, mengurangi konsumsi lampu listrik dan mengurangi risiko silau (Barbara Gherri, 2013).

2.1.2 Manfaat Pencahayaan Alami

Menurut Gregg D. Ander (2002), pencahayaan alami berpotensi utama dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. Solusi dalam pencahayaan alami memiliki peluang untuk meningkatkan efisiensi bangunan dan mengurangi polusi melalui pengurangan energi listrik tahunan yang berkontribusi pada penurunan kualitas udara. Selain itu, tujuan lain dari desain pencahayaan alami yang efisien tidak hanya untuk memberikan tingkat pencahayaan yang cukup untuk kinerja visual yang baik, tetapi juga untuk mempertahankan suasana yang nyaman dan menyenangkan yang sesuai dengan tujuannya. Silau, atau kontras kecerahan yang berlebihan dalam bidang pandang, merupakan salah satu aspek pencahayaan yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan bagi penghuni suatu ruang.

Pencahayaan alami mampu memberikan kondisi yang baik bagi penglihatan. Namun, pencahayaan alami juga dapat menghasilkan silau matahari yang tidak nyaman dan pantulan pencahayaan yang sangat tinggi pada layar tampilan, yang keduanya mengganggu penglihatan. Dengan demikian, efek pencahayaan alami pada kinerja tugas tergantung pada bagaimana sistemnya. Semua faktor ini perlu dipertimbangkan dalam strategi desain pencahayaan alami pada bangunan (Ruck *dkk.*, 2000).

Selain itu, manfaat pencahayaan alami adalah dapat memberi lingkungan visual yang menyenangkan dan nyaman dengan kualitas cahaya yang mirip dengan kondisi alami di luar bangunan. Di samping itu, juga dapat mengurangi atau meniadakan pencahayaan buatan, sehingga dapat mengurangi energi listrik (Rahim, 2012).

2.1.3 Sumber Pencahayaan Alami

Menurut Szokolay (2004), cahaya matahari yang masuk ke dalam bangunan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

- a. Cahaya matahari langsung
- b. Cahaya difus dari terang langit
- c. Cahaya difus dari pantulan tanah atau bidang lainnya

Khusus wilayah yang memiliki iklim tropis, pencahayaan alami dari matahari langsung harus dihindari karena intensitas panasnya cukup tinggi selain mempengaruhi suhu ruangan yang menjadi kurang nyaman intensitas panas cahaya matahari langsung juga mampu mengganggu kenyamanan thermal manusia atau pengguna bangunan. Dalam mengatasi cahaya matahari langsung bisa dilakukan dengan elemen *sun shading* atau penyaring. Penyaring cahaya langsung seperti kisi-kisi dan sebagainya, dengan memanfaatkan bayangan dari sebuah fasad atau material sebagai *sun shading* tersebut. Solusi panas cahaya berlebih dapat dilakukan dengan mendesain bentuk bangunan yang disesuaikan dengan kondisi iklim.

2.1.4 Kondisi Langit

Menurut Rahim (2012), untuk merancang pencahayaan alami, perlu diketahui ketersediaan cahaya alami yang diterima di lokasi bersangkutan. Maksud dari cahaya alami (siang hari) adalah cahaya matahari langsung dan cahaya matahari difus. Distribusi cahaya berpengaruh terhadap kedalaman ruang, posisi bangunan dan kondisi langit (Jamala dkk., 2017). Kondisi langit dapat diklasifikasikan dengan metode rasio awan dan dapat dihitung dari data durasi sinar matahari. Ketersediaan cahaya alami siang hari dipengaruhi oleh :

- a. Letak geografis, terutama jarak terhadap khatulistiwa atau derajat lintang; dan
- b. Iklim, terutama kondisi langit yang dipengaruhi oleh jumlah dan jenis awan yang berkaitan dengan lama penyinaran matahari yang diterima di permukaan.

Hingga saat ini, Komisi Pencahayaan Internasional (CIE-*Commission Internationale de l'Eclairage*) telah menetapkan dua buah standar internasional tentang distribusi luminansi langit. Masing-masing standar tersebut adalah standar langit mendung (*standard overcast sky*) untuk kondisi langit mendung pada tahun 1955, dan standar langit biru/cerah (*standard clear sky*) untuk kondisi langit cerah pada tahun 1973. Dalam perkembangan aplikasi, pengamatan dan pengukuran data

pada kenyataan menunjukkan bahwa di berbagai belahan bumi khususnya sekitar katulistiwa terdapat kondisi langit nyata yang tidak dapat dikelompokkan ke dalam salah satu standar distribusi luminansi langit yang telah ditetapkan. Kondisi langit tersebut adalah 'langit berawan', suatu kondisi langit di antara langit mendung dan langit cerah yang pada akhirnya dikenal dengan istilah *intermediate sky condition* (Rahim, 2012).

Kondisi langit berdasarkan jumlah dan jenis awan dapat dikelompokkan menjadi berikut :

a. Langit Mendung / *Overcast Sky*

Langit yang seluruhnya tertutup awan putih atau abu-abu atau awan tebal sebagian atau seluruhnya. Moon dan Spencer (dalam Rahim, 2012) mengajukan suatu formulasi berdasarkan pengukuran data untuk distribusi luminansi langit dalam kondisi mendung (*overcast sky*) sebagai dasar perhitungan pencahayaan. Pengujian dan evaluasi dari formulasi tersebut pada permukaan normal di berbagai belahan bumi menunjukkan bahwa distribusi luminansi langit memberikan bentuk yang sangat mirip. Nilai luminansi pada zenit turun secara beraturan hingga nilai luminansi di horizon sebesar 1/3 nilai luminansi di zenit.

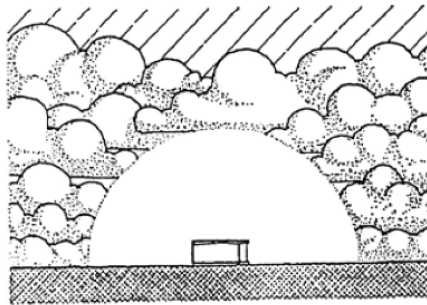
CIE mengadopsi formula dari Moon-Spencer dengan melalui penyederhanaan dengan $k = 2$ sebagai standar distribusi luminansi langit mendung dalam nilai relative pada tahun 1955.

Tabel 1. Nilai relative luminansi langit mendung

Lroc	Ketinggian Matahari									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Nilai	0.33	0.45	0,56	0.67	0.76	0.84	0.91	0.96	0.99	1.00

Sumber : (Rahim, 2012)

Tabel 1 memperlihatkan hasil nilai relative dari luminansi langit mendung nantinya akan distandarkan oleh CIE.



Gambar 1. Ilustrasi Kondisi Langit Berawan Total
Sumber : Rahim, (2012)

Dalam Lighting Guide (1999), kondisi langit tidak mendung apabila cakrawala akan lebih terang dari perkiraan langit mendung CIE dimana lebih banyak cahaya akan diterima, dan area langit di dekat matahari akan lebih terang dimana ruangan yang menghadap ke selatan akan menerima lebih banyak cahaya daripada yang menghadap ke utara. Pada kondisi ini, secara visual *overcast sky* adalah 80% kubah langit terhalang awan.

b. Langit cerah/biru (*clear sky*)

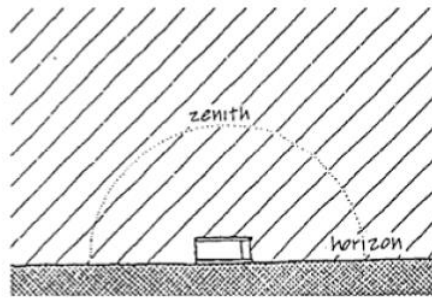
Setelah melakukan berbagai pengujian dan diskusi, pada tahun 1973 CIE mengadopsi rumusan yang diajukan oleh Kittler dengan penyempurnaannya sebagaimana dalam publikasi CIE No. 22 tahun 1973. Nilai relatif distribusi luminansi langit cerah adalah nilai relative luminansi dari setiap luminansi langit yang dihitung sebagai rasio terhadap luminansi zenit dari ketinggian matahari, ketinggian elemen langit, dan jarak lingkaran dari matahari ke elemen langit. CIE telah menyetujui kesepakatan awal internasional tentang nilai rata-rata distribusi luminansi langit cerah sebagaimana formula yang diajukan oleh Kittler (1965).

Tabel 2. Nilai relative luminansi langit cerah

Lrcl	Ketinggian Matahari									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Nilai	41.5	32.5	20.7	13.5	8.91	5.89	3.85	2.49	1.58	1.00

Sumber : (Rahim, 2012)

Tabel 2 memperlihatkan hasil gambaran nilai relative dari luminansi langit cerah. Nilai absolut dari distribusi luminansi langit cerah nantinya akan distandarkan oleh CIE.



Gambar 2. *Ilustrasi Kondisi Langit Cerah*
Sumber : Rahim (2012)

Dalam Lighting Guide (1999), CIE juga mendefinisikan langit cerah untuk kondisi yang benar-benar tidak berawan. Langit ini jauh lebih terang di dekat matahari. Berbeda dengan langit yang mendung, cakrawalanya lebih terang dari puncaknya, jadi lebih banyak cahaya yang akan diterima di kamar dengan penerangan samping. Di iklim yang tercemar dan relatif lembab, langit cerah sumber cahaya yang penting. Di iklim kering yang panas, langit yang cerah terlihat lebih gelap biru, dan dijadikan sebagai sumber cahaya utama. Secara visual, *clear sky* adalah kondisi dimana kubah langit tidak lebih dari 30% yang terhalang awan.

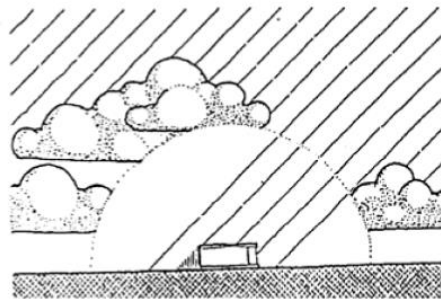
c. *Intermediate Sky*

Langit yang sebagian tertutup awan dengan berbagai jenis dan jumlah awan. Nilai relative dari distribusi luminansi langit berawan diperkenalkan oleh Nakamura (1985, 1987) sebagai suatu hasil rata-rata berdasarkan pengukuran data dalam periode waktu yang cukup lama. Luminansi tersebut bergantung pada ketinggian matahari dengan prinsip yang sama dengan standar langit cerah dari CIE. Nilai relatif distribusi luminansi langit berawan diajukan oleh Nakamura (dalam Rahim, 2012) dari suatu pengukuran data yang kontinyu dan disimpulkan bahwa di beberapa area sekitar tropis banyak ditemukan kondisi langit antara langit mendung dan langit cerah dengan nilai yang berbeda. Nilai tersebut adalah nilai luminansi relatif pada suatu elemen langit (L_{rin}) yang dihitung sebagai rasio terhadap luminansi zenit dari ketinggian matahari, ketinggian elemen langit dan jarak antara matahari dan elemen langit.

Tabel 3. Nilai relative luminansi langit berawan

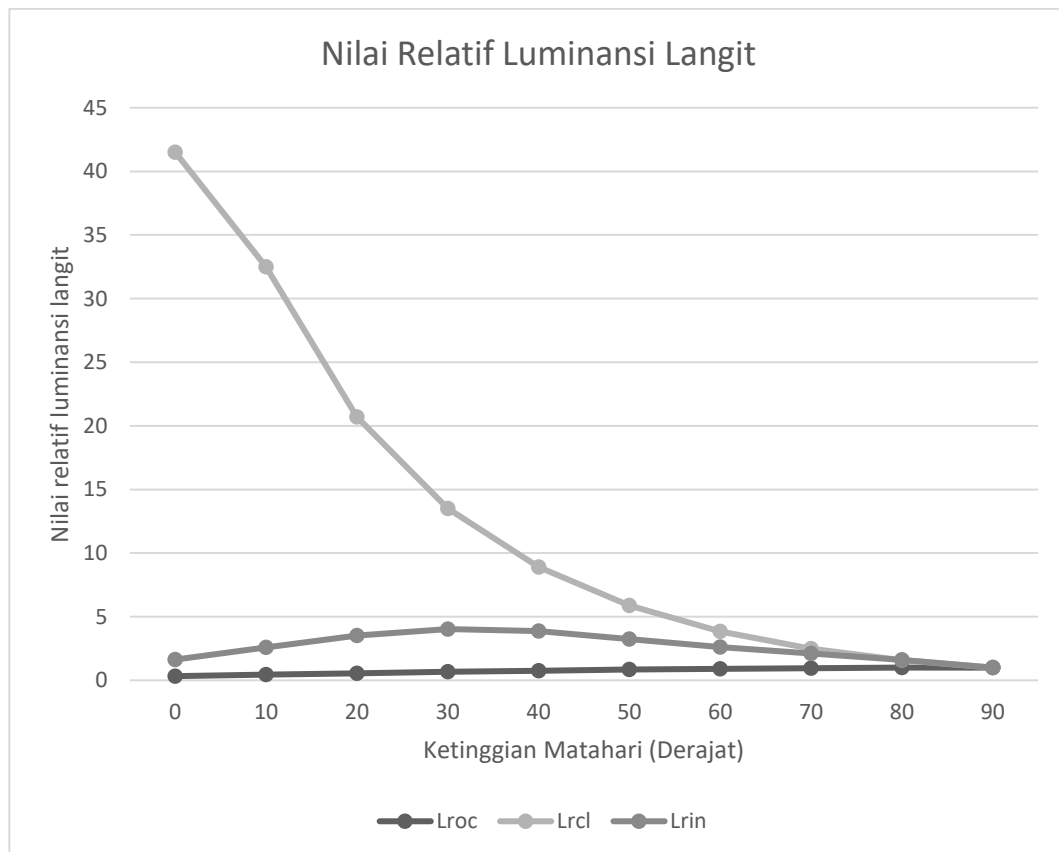
Lrin	Ketinggian Matahari									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Nilai	1.64	2.58	3.53	4.03	3.86	3.25	2.62	2.12	1.61	1.00

Sumber : Rahim (2012)



Gambar 3. Ilustrasi Kondisi Langit Berawan
Sumber : Rahim (2012)

Nilai relatif distribusi langit mendung, langit cerah, dan langit berawan dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4. Nilai relative luminansi langit mendung (Lroc), langit cerah (Lcl), dan langit berawan (Lrin)

2.1.5 Kondisi Langit Makassar dengan Rasio Awan dan Data Lama Penyinaran Matahari

Analisis data siang hari dan radiasi matahari telah dilakukan di daerah tropis. Hasil analisa mengklasifikasikan tiga kondisi langit yaitu, *clear sky*, *intermediate sky* dan *overcast sky*. Analisis ini menggunakan dua metode yaitu rasio awan dan lama penyinaran matahari. Metode rasio awan dilakukan melalui pengukuran berdasarkan panduan IDMP (*International Daylight Measurement Programme*) Universitas Hasanuddin dari tahun 1995-2000 (Rahim dkk., 2004). Kemudian analisis data dilanjutkan kembali pada bulan Mei-Oktober tahun 2010 (Kuruseng & Rahim, 2016). Sedangkan metode lama penyinaran matahari didasarkan pada data yang diukur di observatorium meteorologi di Makassar selama tahun 1995-2010. Hasil dari kedua metode tersebut relatif sama.

a. Metode rasio awan

Rasio awan adalah perbandingan antara nilai luminansi difus (E_{vd}) dan nilai luminansi global (E_{vg}). Dengan nilai rasio awan, frekuensi terjadinya masing-masing kondisi langit (cerah, berawan dan mendung) dapat ditetapkan. Metode rasio awan dilakukan untuk menganalisis kondisi langit yang membandingkan antara nilai fluktuasi harian dari luminansi global (E_{vg}) dan nilai luminansi difus (E_{vd}). Hasil analisis data menunjukkan klasifikasi data siang hari menjadi tiga kondisi langit (*clear sky*: S_{cl} , *intermediate sky*: S_{in} , dan *overcast sky*: S_{oc}) dengan rasio awan. Analisis data frekuensi relatif tahunan terjadinya *clear sky* (P_{cl}), *intermediate sky* (P_{in}) dan *overcast sky* (P_{oc}) yang dilakukan oleh Rahim dkk., (2004) dari tahun 1995-2000 berdasarkan rasio awan di Makassar diasumsikan masing-masing sebesar 15.14%, 69.78%, dan 15.08%. Sedangkan hasil analisis kondisi langit dengan metode rasio awan yang dilakukan oleh Kuruseng & Rahim (2016) diperoleh rekapitulasi selama 143 hari dari bulan Mei-Oktober 2010 adalah langit cerah 12 hari (8.17%), langit berawan 107 hari (75.23%), dan langit mendung 24 hari (16.60%)

b. Metode lama penyinaran matahari

Dalam Kamus Pencahayaan Internasional (dalam Kuruseng & Rahim (2016), nilai relatif dari lama penyinaran matahari (*relative sunshine duration*) dijelaskan sebagai rasio dari lama penyinaran matahari yang terjadi terhadap kemungkinan maksimum lama penyinaran matahari dalam waktu/periode tertentu dan umumnya nilai tersebut dinyatakan dalam % dengan simbol (σ). Frekuensi relatif tahunan terjadinya *clear sky* (P_{cl}), *intermediate sky* (P_{in}) dan *overcast sky* (P_{oc}) oleh Rahim dkk., (2004) berkaitan data durasi penyinaran matahari di Makassar dari tahun 1995-2000 diasumsikan masing-masing sebesar 12.3%, 73.0%, dan 14.6%. Sedangkan dari hasil analisis kondisi langit dengan data lama penyinaran matahari dari bulan Mei-Oktober 2010 oleh Kuruseng & Rahim (2016) diperoleh rekapitulasi: langit cerah 7.81%, langit berawan 74.82%, dan langit mendung 17.37%.

2.1.6 Faktor Pencahayaan Alami

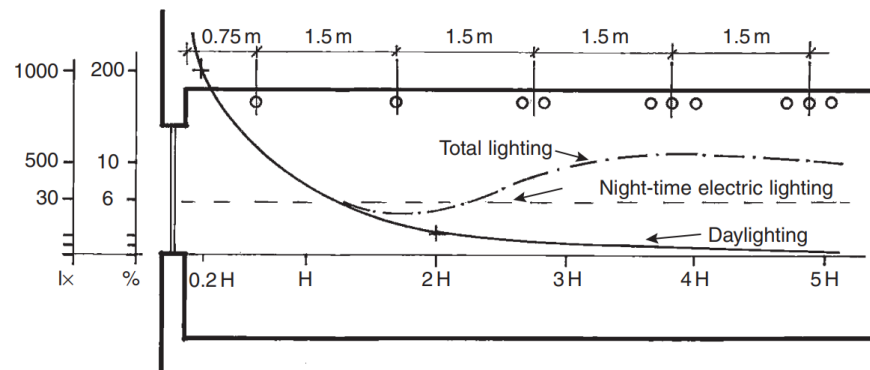
a. *Daylight Factor*

Karena besarnya cahaya langit yang selalu berubah-ubah, untuk menyatakan tingkat pencahayaan dari langit dalam bangunan, digunakan suatu rasio yang disebut factor pencahayaan siang hari (FP) atau *Daylight Factor-DF* (Rahim, 2012). Defenisi dari factor pencahayaan siang hari adalah perbandingan pencahayaan pada suatu titik bidang tertentu dalam suatu ruangan yang ditimbulkan oleh cahaya langit dengan suatu distribusi luminansi tertentu, terhadap tingkat pencahayaan pada bidang horizontal dari cahaya langit di tempat terbuka, pada saat yang sama (Rahim, 2012).

$$FP = E_i/E_o \times 100\%$$

E_i = tingkat pencahayaan dari cahaya langit pda titik suatu bidang di dalam ruangan (lx)

E_o = tingkat pencahayaan dari cahaya langit pada bidang horizontal di tempat terbuka



Gambar 5. Diagram lumener, untuk PSALI
Sumber : Szokolay (2004:141)

Gambar 5 menunjukkan pengaturan praktis lumener dalam diagram. *Daylight factor* pada titik ukur 0.2H 20%, sedangkan pada titik 2H adalah 2%, di mana H adalah ketinggian jendela dari bidang kerja (Szokolay, 2004:141). Karena kondisi pencahayaan luar ruangan sangat bervariasi, hal tersebut hanya dapat didasarkan pada *worst conditions*, akan terjadi ketika langit mendung (Szokolay, 2004:115).

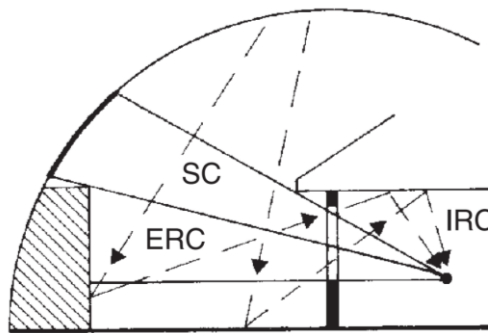
Tingkat pencahayaan di dalam ruangan, misalnya pada suatu titik bidang kerja mengalami perubahan yang sama seperti yang terjadi pada tingkat pencahayaan di bidang horizontal di luar ruangan yang berasal dari langit tidak terhalang. Suatu perancangan pencahayaan alami harus ditentukan karena distribusi luminansi langit sering berubah. Tingkat pencahayaan pada bidang horizontal yang ditimbulkan oleh cahaya langit selalu terjadi atau dilampaui besarnya (Rahim, 2012). Nilai standar penerangan horizontal dari langit yang tidak terhalang merupakan hal yang sangat penting dan mendasar untuk konservasi energi di bidang desain pencahayaan. Penelitian mengenai iluminansi langit yang berasal dari pengumpulan data iluminansi difus di Makassar mulai tahun 1995 sampai dengan 2000, menyatakan bahwa nilai iluminansi horizontal dari langit yang tidak terhalang adalah 14,35 klx (Mulyadi dkk., 16M).

Selain itu, faktor pencahayaan siang hari (FP) atau *Daylight Factor-DF* dapat dinyatakan dengan persamaan (Szokolay, 2004:116):

$$DF = SC + ERC + IRC$$

Faktor pencahayaan alami siang hari terdiri dari 3 komponen meliputi (SNI 03-2396-2001) :

- 1) Komponen Langit / *Sky Component* (SC)
Komponen langit (faktor langit-fl) yakni komponen pencahayaan langsung dari cahaya langit (SNI 03-2396-2001)
- 2) Komponen Refleksi Luar / *Externally Reflected Component* (ERC)
Komponen refleksi luar (faktor refleksi luar - frl) yakni komponen pencahayaan yang berasal dari refleksi benda-benda yang berada di sekitar bangunan yang bersangkutan.
- 3) Komponen Refleksi Dalam / *Internally Reflected Component* (IRC)
Komponen refleksi dalam (faktor refleksi dalam frd) yakni komponen pencahayaan yang berasal dari refleksi permukaan-permukaan dalam ruangan, cahaya yang masuk ke dalam ruangan akibat refleksi benda-benda di luar ruangan maupun cahaya langit.



Gambar 6. Faktor Pencahayaan Alami
Sumber : Szokolay (2004:116)

b. Standar liluminasi

liluminasi adalah tingkat intensitas cahaya baik yang berasal dari cahaya alami (matahari) maupun cahaya buatan (lampu). liluminasi memiliki satuan internasional berupa candela (cd) atau lux (lx) (Szokolay, 2004).

c. Keseragaman pencahayaan / *Uniformity Ratio*

Beberapa strategi pengoptimalan pencahayaan alami dieksperimen untuk mengetahui perubahan *daylighting level* yang diukur dengan satuan lux dan tingkat keseragaman cahaya (*uniformity ratio*). Semakin tinggi

daylighting level dalam suatu ruangan maka membuat ruangan menjadi semakin terang. Semakin tinggi tingkat keseragaman cahaya maka semakin baik pula kualitas pencahayaan alami karena selisih tingkat pencahayaan yang diukur dengan satuan lux tidak terlalu jauh antara nilai minimal dengan nilai rata-ratanya. Adapun rumus perhitungan uniformity ratio adalah sebagai berikut:

$$\text{Uniformity Ratio} = \frac{\text{minimal illuminance}}{\text{average illuminance}} \times 100$$

Uniformity Ratio = tingkat keseragaman cahaya (%)

Minimal Illuminance = level pencahayaan minimal (lux)

Average illuminance = level pencahayaan rata-rata (lux)

2.1.7 Pencahayaan Alami dalam SNI 03-2396-2001

Kriteria pencahayaan alami yang baik telah diatur dalam SNI 03-2396-2001. Pencahayaan alami siang hari dapat dikatakan baik apabila :

- a. Pada siang hari antara jam 08.00 sampai dengan jam 16.00 waktu seternpat terdapat cukup banyak cahaya yang masuk ke dalam ruangan.
- b. Distribusi cahaya di dalam ruangan cukup merata dan atau tidak menimbulkan kontras yang mengganggu.

Pencahayaan alami siang hari harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- a. Cahaya alami siang hari harus dimanfaatkan sebaik-baiknya.
- b. Dalam pemanfaatan cahaya alami, masuknya radiasi matahari langsung ke dalam bangunan harus dibuat seminimal mungkin. Cahaya langit harus diutamakan dari pada cahaya matahari langsung.
- c. Pencahayaan alami siang hari dalam bangunan gedung harus memenuhi ketentuan SNI 03-2396-2001 tentang "Tata cara perancangan pencahayaan alami siang hari untuk rumah dan gedung".

Kebutuhan tata cahaya yang berkualitas dan efisien mengacu pada SNI 03-6197-2000 tentang konservasi energi pada sistem pencahayaan.

Tabel 4. Tingkat Pencahayaan Rata-Rata yang Direkomendasikan

Fungsi Ruangan Perkantoran	Tingkat Pencahayaan (Lux)
Ruang Direktur	350
Ruang kerja	350
Ruang komputer	350
Ruang rapat	300
Ruang gambar	750
Gudang arsip	150
Ruang arsip aktif	300

Sumber : SNI 03-6197-2000 (2000:5)

2.1.8 Pencahayaan Alami pada Bangunan

Menurut Rahim (2012), pemecahan masalah pencahayaan bagi bangunan dewasa ini umumnya dilakukan dengan dua cara :

- a. Cara alami dengan pemanfaatan sinar matahari
- b. Cara mekanis dengan penggunaan energi listrik

Kedua cara tersebut tentu saja harus diterapkan secara tepat guna. Artinya cara manapun yang dipilih sebaiknya berdasarkan kebutuhan yang dituntut oleh fungsi ruangan yang bersangkutan.

Penerapan mekanis sebaiknya hanya dalam hal-hal darurat saja, seperti hal berikut :

- a. Dalam hal sinar matahari tidak cukup memberi kadar cahaya yang dibutuhkan oleh fungsi ruangan.
- b. Dalam hal sinar matahari tidak boleh masuk, disebabkan persyaratan yang dituntut oleh fungsi ruang
- c. Dalam hal sinar matahari tidak ada, misalnya pada malam hari ataupun adanya gangguan-gangguan cuaca sehingga sinar matahari terhalang sampai ke permukaan bumi
- d. Dalam hal diperlukannya 'permainan cahaya' bagi kesan-kesan ruang tertentu sesuai dengan fungsi khusus ruangan yang bersangkutan. Misalnya ruang pameran, ruang peragaan koleksi museum/perpustakaan dan sebagainya.

Dalam hal penerangan alami, kita dapat memanfaatkan sinar matahari. Sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan, sebenarnya terdiri atas beberapa unsur :

- a. Sinar matahari yang langsung tanpa halangan apa pun
- b. Sinar matahari yang berasal dari pantulan-pantulan awan. Kedua sinar matahari tersebut berasal dari langit
- c. Sinar matahari refleksi luar, yakni hasil pemantulan cahaya dari benda-benda yang berdiri di luar bangunan dan masuk ke dalam ruangan melalui lubang jendela atau bukaan cahaya lainnya.
- d. Sinar matahari refleksi dalam, yaitu hasil pemantulan cahaya dari benda-benda yang dekat setara dengan bangunan kita maupun benda-benda dan elemen dalam ruangan itu sendiri. Hal yang termasuk di sini adalah cahaya yang terpantul dari tanah/halaman, taman rumput, pepohonan, serta pengerasan halaman yang terpantul lagi ke bagian-bagian bangunan dan dipantulkan lagi ke bidang dalam ruangan.

2.1.9 Faktor yang berpengaruh terhadap kenyamanan visual

Pemenuhan standar pencahayaan pada hunian sangat penting untuk mencapai kenyamanan visual dan peningkatan aktivitas. Beberapa studi yang telah dilakukan, menemukan bahwa cahaya alami memberi efek yang lebih baik dari pada cahaya buatan, terutama untuk aktivitas. Oleh karena itu penting untuk menjadikan cahaya alami sebagai cahaya utama pada bangunan khususnya hunian. Menurut SNI 03-2396-2001, pencahayaan alami pada siang hari dapat dikatakan baik apabila pada pukul 08.00-16.00 waktu setempat terdapat cukup banyak sinar matahari yang masuk ke dalam ruangan. Selain itu, distribusi cahaya dalam ruangan harus merata sehingga tidak menimbulkan kontras yang mengganggu.

Menurut SNI 03-2396-2001 tentang tata cara perancangan sistem pencahayaan alami pada bangunan, kualitas pencahayaan alami yang layak di tentukan oleh beberapa faktor, antara lain:

- a. Penggunaan ruangan, khususnya ditinjau dari segi berat penglihatan

oleh mata terhadap aktivitas yang harus dilakukan dalam ruangan.

- b. Lamanya waktu aktivitas yang memerlukan daya penglihatan yang tinggi
- c. Sifat aktivitas dapat secara terus menerus memerlukan perhatian dan penglihatan yang tepat, atau dapat pula secara periodik dimana mata dapat beristirahat.

Berbagai macam aktivitas yang dilakukan dalam hunian, berdasarkan klasifikasi kualitas pencahayaan menurut SNI 04-2396-2001, dapat digolongkan sebagai berikut :

a. Kualitas A

Kerja halus sekali, pekerjaan secara cermat terus menerus, seperti menggambar detil, menggravir, menjahit kain warna gelap, dan sebagainya.

b. Kualitas B

Kerja halus, pekerjaan cermat tidak secara intensif terus menerus, seperti menulis, membaca, membuat alat atau merakit komponen – komponen kecil, dan sebagainya.

c. Kualitas C

Kerja sedang, pekerjaan tanpa konsentrasi yang besar, seperti pekerjaan kayu, merakit suku cadang yang agak besar, dan sebagainya.

d. Kualitas D

Kerja kasar, pekerjaan dimana detil – detil yang besar harus dikenal, seperti pada gudang, lorong lalu lintas orang, dan sebagainya.

2.1.10 Silau

Silau adalah hasil cahaya yang tidak diinginkan di bidang visual dan biasanya disebabkan oleh adanya satu atau lebih sumber cahaya terang berlebih. Sejauh mana sumber cahaya mengganggu kemampuan seseorang untuk melakukan suatu tugas dan hasil ketidaknyamanan cahaya menyebabkan dua aspek silau yaitu *disability glare* dan *discomfort glare*.

a. *Disability Glare* (Silau yang menyebabkan ketidakmampuan melihat)

Disability glare ini kebanyakan terjadi jika terdapat daerah yang dekat dengan medan penglihatan yang mempunyai luminansi jauh di atas luminansi obyek yang dilihat. Oleh karenanya terjadi penghamburan cahaya di dalam mata dan perubahan adaptasi sehingga dapat menyebabkan pengurangan kontras obyek. Pengurangan kontras ini cukup dapat membuat beberapa detail penting menjadi tidak terlihat sehingga kinerja tugas visual juga akan terpengaruh. Sumber disability glare di dalam ruangan yang paling sering dijumpai adalah cahaya matahari langsung atau langit yang terlihat melalui jendela, sehingga jendela perlu diberi alat pengendali/pencegah silau (*screening device*).

b. *Discomfort Glare* (silau yang menyebabkan ketidaknyamanan melihat)

Ketidaknyamanan penglihatan terjadi jika beberapa elemen interior mempunyai luminansi yang jauh di atas luminansi elemen interior lainnya. Respon ketidaknyamanan ini dapat terjadi segera, tetapi adakalanya baru dirasakan setelah mata terpapar pada sumber silau tersebut dalam waktu yang lebih lama. Tingkatan ketidaknyamanan ini tergantung pada luminansi dan ukuran sumber silau, luminansi latar belakang, dan posisi sumber silau terhadap medan penglihatan. *Discomfort glare* akan makin besar jika suatu sumber mempunyai luminansi yang tinggi, ukuran yang luas, luminansi latar belakang yang rendah dan posisi yang dekat dengan garis penglihatan. Perlu diperhatikan bahwa variabel perancangan sistem tata cahaya dapat merubah lebih dari satu faktor. Sebagai contoh, penggantian armatur untuk mengurangi luminansi ternyata juga akan menurunkan luminansi latar belakang. Namun demikian, sebagai petunjuk umum, *discomfort glare* dapat dicegah dengan pemilihan armatur dan perletakkannya, dan dengan penggunaan nilai reflektansi permukaan yang tinggi untuk langit-langit dan dinding bagian atas.

Silau terjadi diakibatkan oleh masuknya cahaya matahari langsung

atau adanya pantulan dari benda-benda reflektif. Faktor-faktor yang mempengaruhi silau adalah luminansi sumber cahaya, posisi sumber cahaya terhadap penglihatan pengamat dan adanya kontras pada permukaan bidang kerja. Ada beberapa pendekatan yang bisa digunakan untuk memprediksi dan mengevaluasi ketidaknyamanan silau antara lain VCP (Visual Comfort Probability), UGR (Unified Glare Rating) dan DGI (Daylight Glare Index). UGR adalah metode evaluasi yang ditetapkan oleh International Commission on Illumination (CIE) sebagai standar untuk mengevaluasi ketidaknyamanan silau.

Nilai indeks kesilauan maksimum yang direkomendasikan untuk berbagai tugas visual ditunjukkan pada tabel berikut. Indeks glare maksimal pada ruang kantor adalah 19.

Tabel 5. Nilai indeks kesilauan maksimum (G_{lmax}) untuk berbagai tugas visual dan interior

Jenis Tugas Visual atau Interior dan Pengendalian Silau yang Dibutuhkan	G _{lmax}	Contoh Tugas Visual dan Interior
Pengendalian silau sangat penting	19	Ruang kelas, perpustakaan (umum), ruang keberangkatan dan ruang tunggu di bandara, pemeriksaan dan pengujian (pekerjaan sedang), lobby, ruang kantor.

Sumber : SNI 03-2396-2001 (2001:24)

Berbagai indikator performa pencahayaan alami umumnya cukup mudah ditampilkan dalam simulasi digital. Perangkat lunak yang saat ini digunakan sudah mengakomodasi indikator *daylight factor* (DF) dan distribusi cahaya. Distribusi cahaya dipetakan dalam bentuk kontur cahaya maupun rasio DF min/max atau DF min/mean. seperti *dialux* dan *velux*. Performa indeks silau DGI (*Daylight Glare Index*) dapat ditampilkan dalam *Radiance*, *Evalglare*, *DAYSIM*, dan *Diva for Rhino* (menggunakan plug-in *DAYSIM* dan *Radiance*), sedangkan *Dialux* menggunakan indeks silau UGR (*Unified Glare Rating*). Indeks silau dapat dihitung dengan

manual menggunakan perhitungan rumus atau dengan software. Simulasi digital memiliki kelebihan dari segi akurasi karena mampu mengakomodasi berbagai parameter perhitungan pencahayaan alami dan kemampuannya dalam renderasi visual yang realistik. Selain itu, berbeda dengan metode lainnya yang hanya menghitung performa pencahayaan alami dengan nilai faktor pencahayaan alami, simulasi digital mampu mengkalkulasi perhitungan pencahayaan alami dengan nilai performa yang lebih variative (Ariani Mandala, 2016).

2.1.11 Pengaruh Pencahayaan pada Aktivitas Kerja

Karena penerangan sangat besar manfaatnya untuk keselamatan bekerja dan kelancaran kerja bagi para pegawai, maka perlu diperhatikan adanya penerangan (cahaya) yang terang tetapi tidak menyilaukan. Cahaya yang kurang jelas (kurang cukup) mengakibatkan penglihatan kurang jelas, sehingga pekerjaan akan lambat, banyak kesalahan terjadi, dan tentu saja hal ini menyebabkan kurang efisien dalam melaksanakan pekerjaan, sehingga tujuan organisasi tersebut tidak dapat dicapai secara efektif (Sedarmayanti, 2009)

Sedangkan menurut Nuraida (2008) penerangan kantor yang optimal berguna untuk:

- a. Meningkatkan produktivitas kerja.
- b. Meningkatkan mutu kerja
- c. Mengurangi ketegangan/kerusakan mata
- d. Mengurangi rasa lelah.
- e. Meningkatkan semangat kerja pegawai.
- f. Memberikan citra yang baik bagi perusahaan

2.2 Sistem Pencahayaan

International Energy Agency (2000) membagi sistem pencahayaan alami menjadi dua bagian, antara lain :

2.2.1 Sistem Pencahayaan dengan *Shading*

Terdapat dua jenis sistem pencahayaan alami dengan *shading*, antara lain sistem pencahayaan yang mengandalkan penyebaran *skylight*

dan menolak sinar matahari langsung, dan sistem pencahayaan yang menggunakan sinar matahari langsung lalu meneruskannya ke langit-langit atau objek di atas ketinggian mata manusia.

Sistem *shading* dirancang untuk *solar shading* serta pencahayaan alami. Sistem tersebut mengatasi keluhan pencahayaan alami seperti perlindungan dari silau atau *glare*, dan pengalihan sinar matahari langsung. Penggunaan sistem *solar shading* konvensional, seperti *pull down – shade*, secara signifikan dapat mengurangi masuknya cahaya matahari ke sebuah ruangan.

2.2.2 Sistem Pencahayaan tanpa *Shading*

Sistem pencahayaan alami tanpa *shading* dirancang terutama untuk mengarahkan cahaya matahari ke area jauh dari jendela atau bukaan *skylight*. Sistem ini dibagi menjadi empat kategori, antara lain :

- a. *Diffuse Light Guiding Systems*, dalam kondisi langit mendung, area sekitar puncak langit jauh lebih terang daripada daerah yang dekat dengan cakrawala. *Diffuse light guiding systems* dapat meningkatkan pemanfaatan siang hari dalam situasi ini.
- b. *Direct Light Guiding Systems*, meneruskan cahaya matahari langsung ke dalam ruangan, tanpa menimbulkan efek *glare* atau panas berlebih.
- c. *Light Scattering or Diffusing Systems*, jika sistem ini digunakan pada jendela vertikal, maka *glare* akan terjadi.
- d. *Light Transport Systems*, meneruskan cahaya matahari langsung ke dalam bangunan melalui serat optik.

2.2.3 Pemilihan Sistem Pencahayaan

Telah dibuktikan dalam banyak penelitian bahwa menggunakan sistem pemandu pencahayaan alami, terutama di ruang dalam, berkontribusi untuk (Daich *dkk.*, 2021) :

- a. menerangi bangunan dalam secara alami,
- b. mengontrol penetrasi ruang siang hari,
- c. menghindari silau dan menciptakan visual yang nyaman. lingkungan, dan
- d. berkontribusi secara efektif pada penghematan energi dengan

mengurangi kebutuhan akan pencahayaan buatan.

Sistem tersebut dapat mengarahkan baik cahaya alami langsung maupun difus ke inti bangunan, hingga 8 m, dengan cara pemantulan, pembiasan, atau defleksi. Perbandingan tiga sistem pemandu pencahayaan alami yang umumnya digunakan pada bangunan dalam telah dianalisis oleh Daich (2021), yaitu: *light pipe system*, *solar tube*, dan *anidolic integrated ceiling*. Kriteria yang diberikan menunjukkan bahwa fungsi utama dari ketiga sistem dari mengumpulkan dan mengarahkan cahaya matahari dari luar ke area ruang terdalam untuk meningkatkan kenyamanan visual. Apalagi struktur sistemnya sama kecuali *anidolic integrated ceiling* yang merupakan satu-satunya yang terintegrasi dengan *ceiling*. Di sisi lain, perbandingan antara kinerja sistem dan cara mengendalikan siang hari, menunjukkan bahwa *light pipe system* dan *solar tube* dapat diintegrasikan di berbagai jenis bangunan dan lebih efisien di bawah langit cerah dan mendung tanpa desain shading, sedangkan *anidolic integrated ceiling* dapat diadopsi dalam kondisi langit bercahaya yang berbeda terutama di gedung perkantoran yang dalam.

Kesimpulannya, *anidolic integrated ceiling* adalah konfigurasi sistem pencahayaan alami yang paling tepat yang dapat meningkatkan kenyamanan visual di ruang kantor yang dalam di daerah yang panas dan gersang dan menghindari panas berlebih pada hari-hari musim panas yang panas (Daich dkk., 2021).

Anidolic integrated ceiling pertama kali dikembangkan di *Solar Energy and Building Physics Laboratory (LESO-PB)* dari *Ecole Federale de Lausanne (EPFL)* di Swis (Scartezini & Courret, 2002). *Anidolic integrated ceiling* dapat diklasifikasikan sebagai sistem pencahayaan pasif canggih. Struktur sistem pencahayaan alami terdiri dari kolektor eksternal yang terintegrasi ke bagian atas fasad vertikal bangunan, diikuti oleh pipa lampu reflektif yang membentang bersama dengan langit-langit palsu horizontal dan luminer ekstraktor cahaya, yang diposisikan secara strategis bersama dengan pemandu. Perangkat pasif ini dapat diterapkan di daerah dengan langit cerah, kondisi mendung sebagian, dan langit

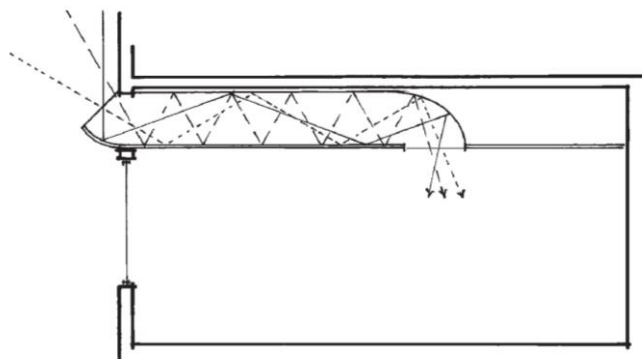
mendung. Performanya mencapai 12 m dari jendela ketika komponen sistem dilapisi dengan bahan dengan reflektansi tinggi (Daich *dkk.*, 2021).

2.2.4 *Anidolic Light Pipe*

a. Karakteristik *Anidolic Light Pipe*

Sistem langit-langit *anidolic* merupakan sistem langit-langit yang menggunakan sifat optik senyawa konsentrator parabola untuk mengumpulkan cahaya matahari difus dari langit. Konsentrator digabungkan ke saluran cahaya *specular* di atas bidang langit-langit, yang mengantar cahaya ke bagian belakang ruangan. Tujuannya adalah untuk menyediakan cahaya matahari yang cukup untuk ruangan pada kondisi langit mendung (Ruck *dkk.*, 2000).

Langit-langit *anidolic* terdiri dari optik pengumpul cahaya matahari yang digabungkan ke dalam saluran cahaya di langit-langit ruangan. Elemen optik *Anidolic* ditempatkan pada kedua ujung saluran cahaya. Untuk di luar gedung, konsentrator optik *anidolic* menangkap dan mengonsentrasikan pancaran cahaya dari area atas kubah langit, dan secara efisien memasukkan sinar ke dalam saluran. Pada *outlet* saluran di belakang ruangan, reflektor parabola mendistribusikan cahaya ke bawah. Cahaya matahari diantar lebih dalam ke dalam ruangan oleh beberapa reflektor spekular yang melapisi saluran cahaya, yang menempati sebagian besar area di atas langit-langit.



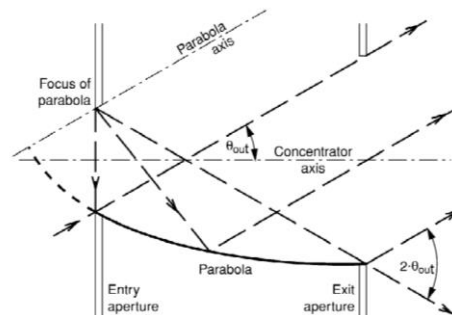
Gambar 7. *Anidolic Ceiling* (Szokolay, 2004:126)

Karena sistem ini didasarkan pada sifat reflektor dari permukaan material *anidolic*, maka sistem ini dikembangkan dengan prinsip sebagai

berikut (Ruck *dkk.*, 2000) :

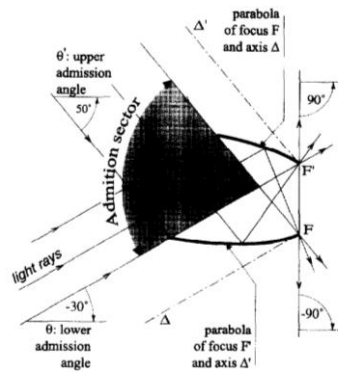
- 1) Kolektor *anidolic* dirancang dan ditempatkan di depan panduan cahaya untuk mengumpulkan dan memusatkan cahaya ke saluran masuk cahaya pada *anidolic*.
- 2) Perangkat *anidolic* lain dipasang pada ujung saluran untuk mendistribusikan cahaya ke dalam ruang.

Semua cahaya yang berasal dari fokus parabola akan dipantulkan sejajar dengan sumbu parabola. Dengan menggunakan prinsip ini, semua cahaya di depan jendela dapat diarahkan ke bagian dalam ruangan (Roland Winston, 2004).



Gambar 8. Konstruksi Reflektor *Anidolic* berdasarkan prinsip edge-ray
Sumber : Scartezini dan Courret (2002:125)

Gambar 8 mengilustrasikan bagian kolektor dari sistem *anidolic* yang mengumpulkan cahaya difus dari bagian atas belahan bumi melalui lubang dan mengirimkannya ke saluran *anidolic* dan distribusi eksternal. Desain *anidolic* memastikan bahwa jangkauan optik dari berkas cahaya yang diterima dan berjalan melalui seluruh perangkat *anidolic* sama dengan cahaya yang keluar melalui distribusi eksternal (Scartezini & Courret, 2002).



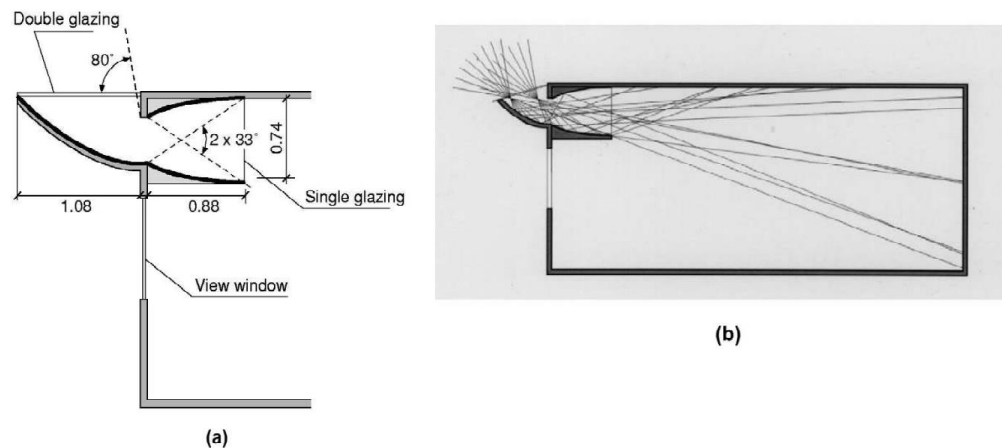
Gambar 9. Prinsip *Compound Parabolic Concentrator* (CPC)
 Sumber : (Ruck et al., 2000:4-87)

Prinsip optik dapat digunakan untuk mengembangkan sistem pencahayaan alami yang dapat memaksimalkan penggunaan cahaya difus dari terang langit seperti yang terlihat pada gambar 8. Sinar cahaya yang dibatasi pada bukaan masuk oleh sudut θ and θ' (parameter desain yang diberikan) ditransmisikan sepenuhnya pada bukaan keluar.

b. Aplikasi *Anidolic Light Pipe*

Sistem ini paling baik digunakan pada fasad vertikal di gedung-gedung yang sebagian besar berlokasi di kondisi mendung dan yang memiliki akses terbatas ke sinar matahari langsung. Persyaratan desainnya meliputi (Ruck *dkk.*, 2000) :

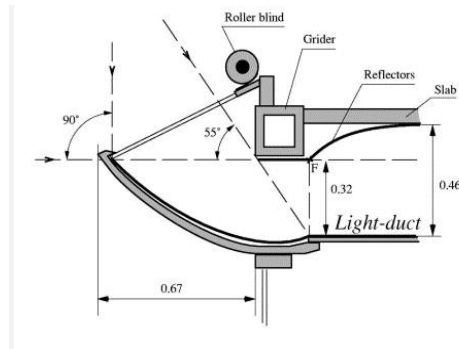
- 1) Pencahayaan alami yang tersedia harus dikumpulkan secara efisien dari kubah langit dan dipandu kesaluran cahaya, bahkan selama kondisi mendung terburuk (biasanya musim dingin).
- 2) Resiko silau harus dikurangi dengan menyalurkan cahaya matahari dari fasad ke dalam ruangan dan mendistribusikannya kembali ke bawah dari langit-langit dengan cara konvensional (seperti lampu listrik).
- 3) Dimensi saluran lampu harus sesuai dengan ruang bangunan yang tersedia.



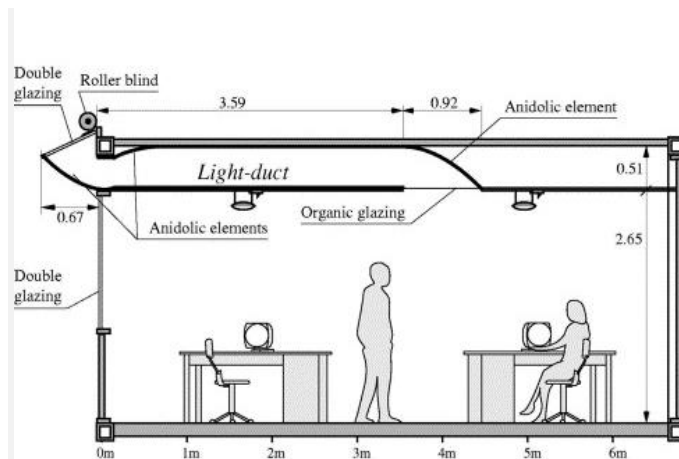
Gambar 10. Desain prototipe pertama dari sistem pencahayaan *anidolic* (*zenithal anidolic collector*). (a) Bagian perangkat; (b) *ray tracing* komponen siang hari difus melalui sistem (sinar yang dipancarkan oleh kubah langit)
 Sumber : Scartezzini & Courret (2002:126)

Gambar 10 menunjukkan desain prototipe pertama dari sebuah *anidolic*. Penerangan horizontal global, tersedia mengikuti prinsip *edge-rays*. Sesuai untuk iklim khas Eropa Tengah, sistem ini terbuat dari dua eksternal sesuai dengan 60% per tahun fraksi siang hari, ditempatkan di depan satu sama lain dalam pencahayaan (di bagian belakang ruangan). cara yang berlawanan. Sistem *anidolic* secara keseluruhan membutuhkan performa bercahaya tinggi yang dicapai dengan keuntungan dari pemilihan sudut pintu masuk.

Pertunjukan siang hari yang luar biasa dicapai dengan sistem ini diinstal pada ruang ujian 2,7 m di kampus EPFL Swiss seperti yang ditunjukkan pada gambar 12 (Scartezzini & Courret, 2002).



(a)



(b)

Gambar 11. Penampang melintang dari: (a) kolektor eksternal anidolik (perangkat non-simetris 2D); (b) langit-langit *anidolic* dipasang di modul uji skala 1:1

Sumber : Scartezini dan Courret (2002:127)

Gambar 11 menunjukkan *anidolic ceiling* dengan menggunakan *light duct* yang mendistribusikan pencahayaan alami pada area kantor. Desainnya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Scartezini & Courret, 2002) :

- 1) Kolektor *anidolic* dirancang sebagai perbandingan dengan prototipe *anidolic* sebelumnya yang ditempatkan di depan panduan cahaya untuk mengumpulkan dan untuk meningkatkan pencahayaan alami di lubang kolektor. Reflektor *anidolic* terdiri dari permukaan aluminium dengan reflektansi 90%.
- 2) Semua permukaan langit-langit *anidolic* adalah perangkat *anidolic* lain dipasang di saluran yang dilapisi dengan bahan optik yang sangat reflektif untuk mendistribusikan pencahayaan ke dalam ruang melalui

saluran dan distributor *anidolic*.



Gambar 12. Aplikasi *anidolic ceiling* di EPFL Swiss
Sumber : Scartezini & Courret (2002)

Sudut masuk dari sektor masuk bervariasi sepanjang bukaan pintu masuk dari 90° (tepi eksternal) hingga 55° (tepi internal). Lebar kolektor *anidolic* dikurangi dari desain prototipe sebelumnya (yaitu dari 1.08 m menjadi 0.67 m). Saluran cahaya berbentuk persegi panjang yang terbuat dari aluminium foil anidosa 0,5 mm dengan reflektansi tinggi 90%. *Anidolic ceiling* ditutup dengan *insulated double glazing* dengan transmisi 81%. Lubang distribusi cahaya terbuat dari material organik (elemen plastik) dengan regular transmisi 90%, yang ditempatkan pada lubang distributor cahaya untuk keamanan dan perbaikan nantinya. Panel masuk memiliki sudut 25° sebagai pelindung dari air hujan.

c. Komponen *Anidolic Integrated Ceiling*

Anidolic Ceiling menggunakan prinsip *diffuse light guiding systems*, berfungsi baik pada langit berawan. *Light guiding systems* pada umumnya menggunakan tiga komponen, yaitu penangkap cahaya (*Inlet*), Penyalur cahaya (*Transmitter*), dan Distributor (*outlet*) untuk mendistribusikan cahaya ke dalam ruangan (Scartezini & Courret, 2002).

1) Kolektor Cahaya (*Inlet*)

Merupakan peralatan untuk menangkap cahaya dan mengarahkannya pada penyalur cahaya, umumnya diletakkan diluar bangunan. Kolektor *anidolic* adalah sistem kolektor pasif. Ini memiliki satu orientasi yang

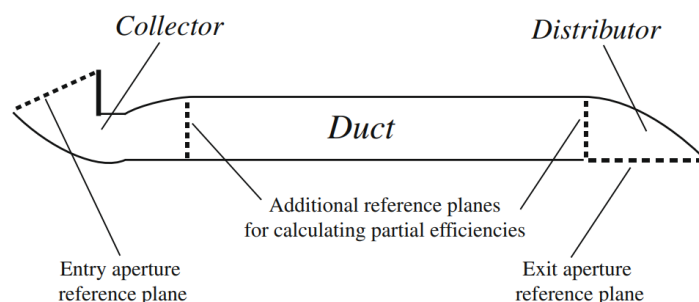
memperbaiki dan mengarahkan cahaya matahari maksimum ke ruang dalam ruangan. Dalam situasi ini, cahaya terkonsentrasi melalui cermin parabola dengan dukungan kolektor nonimaging. Kolektor siang hari *anidolic* digunakan untuk mengumpulkan cahaya matahari untuk ditransfer ke rencana bangunan yang lebih dalam dan kolektor perlu membangun dengan bahan yang sangat reflektif. Kolektor diposisikan pada fasad luar bangunan yang mengangkut cahaya matahari di dalam saluran dan kemudian distributor menyebarkan cahaya ke dalam ruang.

2) Saluran (transmitter)

Merupakan alat untuk menyalurkan cahaya pada ruang setelah cahaya tersebut ditangkap. Bentuk paling dasar penyalur adalah saluran kosong. Prinsip kerjanya adalah peristiwa pemantulan dalam total.

3) Distributor (outlet)

Cahaya yang keluar dari penyalur harus didistribusikan ke dalam ruangan . Hasil distribusi diharapkan mempunyai kulit yang sama dengan cahaya yang didapat dari armatur inlet.



Gambar 13. Komponen *Anidolic Integrated Ceiling*
 Sumber : Linhart (2010:1090)

Sistem langit-langit *anidolic* dirancang untuk ditempatkan pada fasad vertikal di atas jendela. Karena perangkat *anidolic* eksternal mengumpulkan sinar matahari yang menyebar dengan optik secara efisiensi, sistem langit-langit *anidolic* cocok untuk pencahayaan pada ruangan dengan cahaya siang yang menyebar selama kondisi mendung. Sistem ini dirancang untuk mengumpulkan cahaya yang menyebar dari kubah langit, jadi dapat digunakan di lintang mana pun.

Langit-langit *anidolic* dapat digunakan di bangunan komersial, industri, atau institusional. Spesifik desain akan bervariasi sesuai iklim dan garis lintang. Penggunaan untuk bangunan yang memiliki ruang pada langit-langit atau tinggi langit-langit yang mungkin sesuai selama tidak terdapat penghalang besar ataupun gangguan dari bangunan lainnya.

Dalam aplikasinya saat ini, tujuan utama dari sistem ini adalah untuk memberikan cahaya matahari yang cukup di bawah kondisi langit mendung. Untuk mengumpulkan fluks cahaya yang cukup, *anidolic* kolektor biasanya harus menjangkau lebar penuh fasad ruangan, dan saluran lampu harus sepenuhnya kosong di atas plafon dalam ruangan.

Tirai eksterior diperlukan untuk mengatur sinar matahari langsung jika terjadi silau yang berlebihan, kendali manual atau otomatis diperlukan. Selain daripada itu langit-langit *anidolic* tidak lagi memerlukan kontrol tambahan.

Sistem plafon *anidolic* dasar biasanya tidak memerlukan perawatan. Pada kondisi normal (yaitu, tidak terlalu berdebu) dan dengan kualitas udara yang khas di lingkungan perkotaan, hujan cukup untuk membersihkan panel inlet untuk mempertahankan kinerja secara normal. Pengoperasian sistem plafon *anidolic* selama kurang lebih tiga tahun tanpa masalah kinerja yang signifikan telah menjawab hal ini.

Sistem plafon *anidolic* membutuhkan biaya diawal pemasangannya, untuk membuat sistem pengumpul optik pada fasad dan untuk membangun bidang reflektif dengan elemen optik sebagai pemancar. Kita berasumsi tirai dan kontrol pencahayaan termasuk dalam sistem konvensional, jadi ini tidak dianggap sebagai biaya tambahan.

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) di Swiss adalah laboratorium penelitian yang telah melakukan beberapa percobaan *Anidolic* system. Beberapa prototipe dari *Anidolic* Daylighting Systems (ADS) dibangun oleh Solar Energy and Building Physics Laboratory of EPFL (LESO-PB), untuk memvalidasi prinsip-prinsip pendekatan pencahayaan baru yang berkaitan dengan kenyamanan visual dan penghematan energi. Prototipe ini terintegrasi dalam berbagai jenis

konstruksi (modul uji, bangunan eksperimental, dll.); simulasi numerik untuk integrasi ADS dalam proyek arsitektur juga digunakan untuk melengkapi pengetahuan ilmiah yang diperoleh secara eksperimental. *Anidolic Ceiling* (AC) dibangun pada tahun 1996 dan dipasang pada modul uji pencahayaan alami seluler (modul DEMONA), yang terletak di kampus EPFL.

2.2.5 *Anidolic Light Pipe* pada Iklim Tropis

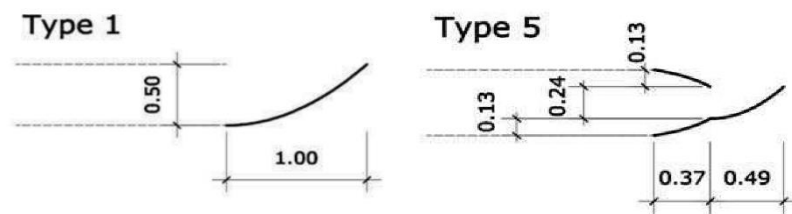
Beberapa penelitian tentang kinerja pencahayaan sistem *anidolic* di daerah tropis menunjukkan kinerja pencahayaan alami yang luar biasa dan potensinya untuk menghemat energi pencahayaan (Wittkopf dkk., 2010). Faktor-faktor ini dipetakan di seluruh 15 kondisi langit dan berbagai ketinggian matahari dan dapat berfungsi sebagai referensi umum yang menunjukkan kondisi di mana langit-langit *anidolic* berkinerja terbaik. Penerapan istilah baru ini ditunjukkan untuk Singapura, Fukuoka, dan Sheffield, yang mewakili tiga pita garis lintang utama dan mewakili rangkaian tipe langit yang berbeda di dunia. Dapat disimpulkan bahwa peningkatan kinerja pencahayaan alami melalui langit-langit *anidolic* paling signifikan di Singapura (Wittkopf et al., 2010).

Selain itu, juga sudah terdapat beberapa uji kinerja *anidolic integrated ceiling* yang telah dilakukan di iklim tropis, antara lain :

- a. Kinerja sistem pencahayaan *anidolic* pada iklim tropis di Singapura (Wittkopf dkk., 2010)
- b. Studi penelusuran kolektor sistem pencahayaan alami non-pencitraan di Singapura (Wittkopf dkk., 2010)
- c. Menyelidiki kinerja *Anidolic Daylighting System* sehubungan dengan orientasi bangunan di daerah tropis di Malaysia (Roshan dkk., 2016)
- d. Sistem pencahayaan *anidolic* yang menghadap ke timur pada perkotaan tropis di Yogyakarta (Binarti & Satwiko, 2013)

Setelah penelitian uji kinerja *anidolic* yang menghasilkan desain prototipe yang telah dilakukan oleh Scartezzini dan Courret (2002), Wittkopf dkk., (2010) kemudian melakukan uji kinerja *anidolic* pada 7 tipe desain kolektor. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan hasil kinerja

pada masing-masing tipe kolektor. Di Singapura, misalnya, terletak di khatulistiwa di mana matahari bergerak di atas kepala, bagian zenithal langit jauh lebih terang daripada cakrawala. Desain kolektor tipe 1 dan tipe 5 menunjukkan kinerja yang baik pada iklim tropis. Tipe 1 mengarahkan lebih banyak cahaya ke dalam corong karena diameternya, menunjukkan pencahayaan tinggi pada bidang pengukuran horizontal, sedangkan tipe 5 mengarahkan fluks hampir sejajar dengan sumbu saluran, menghasilkan pencahayaan horizontal yang lebih rendah. Namun, kolektor tipe 5 menunjukkan pencahayaan yang hampir konstan pada bidang pengukuran vertikal yang berbeda. Jadi meskipun tipe 1 pasti akan bekerja dengan baik pada meter pertama, tipe 5 memungkinkan mengarahkan cahaya lebih jauh melalui saluran *anidolic* pada iklim tropis.



Gambar 14. Desain kolektor *anidolic* tipe 1 dan tipe 5
 Sumber : Wittkopf (2010:988)

Wittkopf dkk., (2010) kemudian kembali melakukan uji kinerja sistem pencahayaan *anidolic* di iklim tropis, dengan melakukan studi parametrik pada komponen utama *anidolic*, untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada daerah tropis, AIC mampu bekerja lebih efisien dengan menggunakan bahan pelapis perak/silver dengan reflektansi 98%. Ketika lebar saluran dari referensi saluran 5 m diturunkan menjadi 1 m, terjadi penurunan kinerja AIC dari 32.5% menjadi 27.3 %. Penurunan kinerja AIC juga terjadi seiring dengan semakin panjangnya saluran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan kinerja mulai dari 1 m ke 18 m panjang saluran. Penurunan ini tidak terjadi secara signifikan jika seluruh lapisan menggunakan bahan pelapis perak/silver dengan reflektansi 98%. Dalam hal ini, penurunannya kira-kira 0.9% per meter. Sudut bukaan pada

komponen eksternal AIC juga mempengaruhi kinerja AIC. Dari kasus referensi pada gedung tanpa fasad dengan sudut bukaan 90° , terjadi penurunan efisiensi kinerja AIC sekitar 18% ketika sudut bukaan diperkecil menjadi 50° . Hasil yang pada dasarnya baru yang disajikan dalam artikel ini dapat sangat membantu arsitek, insinyur, dan ilmuwan di masa depan, dalam hal menentukan dimensi *anidolic* secara tepat untuk berbagai bangunan dan kondisi siang hari.

Uji kinerja *anidolic* pada iklim tropis juga dilakukan oleh Roshan, dkk (2013). Model referensi kolektor pada penelitian ini mengacu pada model kolektor tipe 5 yang telah diuji sebelumnya oleh Wittkopf dkk., (2010). Penelitian ini dilakukan dengan menguji kinerja *anidolic* pada empat orientasi di Malaysia. Penelitian dilakukan dengan eksperimen model fisik skala 1:10. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *anidolic* dapat bekerja dengan baik pada 4 orientasi dengan kondisi iklim tropis di Malaysia. Namun, kinerja *anidolic* terbaik pada orientasi selatan. Pengukuran dilakukan pada tanggal 4 Januari. Posisi matahari pada bulan Januari condong ke arah selatan, sehingga kinerja *anidolic* pada sisi selatan lebih baik dibanding sisi utara.



Gambar 15. Uji kinerja *anidolic* untuk 4 orientasi pada model fisik skala 9x5x3 m skala 1:10 di Malaysia
Sumber : Roshan, dkk (2016:3)

Sistem pencahayaan *anidolic* juga perlu memperhatikan kondisi lingkungan sekitar bangunan, khususnya pada daerah perkotaan yang padat. Hal ini kemudian diteliti oleh Binarti dan Satwiko (2015), dengan melakukan uji kinerja *anidolic* di perkotaan padat penduduk Yogyakarta. Penelitian tersebut menyajikan aplikasi sistem pencahayaan alami *anidolic*

yang terjangkau pada rumah perkotaan tropis. Hasil simulasi dan pemantauan jangka pendek sebelum dan sesudah konstruksi menunjukkan keberhasilan penerapan sistem pencahayaan alami untuk meningkatkan kinerja pencahayaan alami, terutama sebelum pukul 13:00, tanpa meningkatkan suhu udara dalam ruangan. Hasilnya menunjukkan profil pencahayaan per jam yang kuat. Untuk meningkatkan iluminasi dalam ruangan setelah pukul 13:00 dan profil iluminasi setiap jam, pengumpul sistem pencahayaan alami *anidolic* yang menghadap ke timur dapat digabungkan dengan pengumpul yang menghadap ke barat.



Gambar 16. Aplikasi *anidolic* pada orientasi timur di Yogyakarta
Sumber : Binarti dan Satwiko (2015:6)

Berbagai uji kinerja *anidolic* pada iklim tropis menunjukkan peluang memaksimalkan pemanfaatan pencahayaan alami ke dalam bangunan, dan kinerjanya dinilai baik pada iklim tropis. Penggunaan sistem pencahayaan *anidolic* tentu saja dibutuhkan terutama pada area yang jauh dari jendela. Oleh karena itu, peneliti mencoba melakukan uji kinerja *anidolic* untuk mengatasi keluhan pencahayaan pada gedung kantor Menara Bosowa Makassar.

2.3 Penelitian Terdahulu

1. (Baharuddin, 2010)

Dalam penelitiannya yang berjudul “*Advanced Daylighting System for Deep-Plan Office*”, dianalisis mengenai penggunaan sistem pencahayaan yang mampu mentranser pencahayaan alami ke ruang yang lebih dalam. Penelitian menggunakan 4 kasus berbeda. Yaitu *bascase*, kasus 1,

kasus 2, dan kasus 3. Masing-masing kasus memiliki perbedaan. *Basecase* merupakan ruangan tanpa pemasangan *anidolic*. Sedangkan, kasus 1, 2, dan 3 merupakan ruangan dengan pemasangan *anidolic*. Masing-masing kasus memiliki dimensi yang berbeda. Kasus 1 memiliki dimensi saluran *anidolic* 6.25 m x 0.7 m, kasus 2 pxl 6.25m x 2.3m, dan kasus 3 3.5m x 2.3 m. Pada ruang tanpa *anidolic* (*basecase*) menunjukkan penurunan nilai *daylight factor* kurang dari 1% pada posisi 7.5 m – 9.5 m dari jendela. Kasus 2 memiliki kinerja DF terbaik. Pada kasus 2, pada area 0,5 m dari jendela, terlihat penurunan DF secara signifikan menjadi 14.02%. Sedangkan DF pada area 9.5 m dari jendela, DF dapat ditingkatkan secara signifikan menjadi rata-rata 2%. Nilai keseragaman pada siang hari pada *basecase* sangat kecil yaitu 0.1%, yang menunjukkan distribusi penyebaran cahaya matahari buruk. Nilai keseragaman dapat ditingkatkan dengan menggunakan ALP. Kasus 2 memiliki kinerja keseragaman tertinggi yaitu sebesar 3.3%, atau 3.3 kali lebih baik daripada kinerja *basecase*.

2. (Binarti & Satwiko, 2013)

Dalam penelitiannya yang berjudul “*An East-Facing Anidolic Daylighting System on a Tropical Urban House*” penelitian dilakukan dengan membandingkan kondisi rumah perkotaan Yogyakarta tanpa pemasangan ADS, dan dengan pemasangan ADS lebar 40 cm pada sisi timur. ADS yang menghadap ke timur telah diterapkan untuk meningkatkan tingkat cahaya matahari dari ruangan yang sangat terhalang di rumah perkotaan tropis. Hasil simulasi melaporkan bahwa ADS dengan lebar 40 cm meningkatkan kinerja pencahayaan alami secara signifikan bahkan di bawah kondisi langit terburuk, yaitu pada 21 Juni pukul 16:00 di bawah langit mendung. DF meningkat sekitar 39%, sedangkan iluminasi meningkat sekitar 150% pada kondisi langit mendung dan 370% pada kondisi langit cerah dengan matahari. Pemantauan ADS pasca konstruksi dilakukan dari April hingga awal Juli. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa pemasangan ADS meningkatkan penerangan ruang tamu pada

siang hari tanpa meningkatkan suhu udara dalam ruangan. presentasi perbedaan antara simulasi dengan perangkat lunak dan pengukuran langsung pasca pemasangan ADS sebesar 22% - 24%. Meskipun perbedaan antara simulasi dan pengukuran lapangan bervariasi, simulasi keseluruhan dan pemantauan aplikasi ADS selebar 40 cm telah mengkonfirmasi bahwa sistem ini dapat meningkatkan kinerja pencahayaan alami di ruang tamu.

3. (Daich *dkk.*, 2021)

Dalam penelitiannya yang berjudul "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", peneliti mencoba mengulas mengenai kinerja *anidolid* dalam meningkatkan kualitas pencahayaan alami di dalam ruang dengan menggunakan metode *HDR Photography* dan evaluasi subjektif. - Penelitian dilakukan dengan uji karakteristik model 1:4 ukuran 6x12 m dan tinggi 4 m, dengan dua bukaan eksternal 1.2 m x 1.2 m, dalam kondisi iklim sangat panas (*hot climate*). Pengukuran tingkat iluminasi dilakukan pada ketinggian bidang kerja (0,9 m), pada sumbu tengah model skala, di tiga lokasi (pada jarak 4 m, 6 m, dan 10 m dari bukaan, dengan percobaan 4 orientasi, utara, timur, barat, dan selatan. Pengukuran dilakukan pada bulan Desember dengan rata-rata -Penelitian dilakukan dengan uji karakteristik model 1:4 ukuran 6x12 m dan tinggi 4 m, dengan dua bukaan eksternal 1.2 m x 1.2 m, dalam kondisi iklim sangat panas (*hot climate*). Pengukuran tingkat iluminasi dilakukan pada ketinggian bidang kerja (0,9 m), pada sumbu tengah model skala, di tiga lokasi (pada jarak 4 m, 6 m, dan 10 m dari bukaan, dengan percobaan 4 orientasi, utara, timur, barat, dan selatan. Pengukuran dilakukan pada bulan Desember dengan rata-rata penerangan luar 31500 lux pada kondisi langit berawan. -Hasil penelitian menunjukkan bahwa cahaya matahari yang menembus ruang dengan menggunakan *anidolic* cukup untuk memberikan tingkat pencahayaan yang baik dan memenuhi persyaratan standar 300 lux di

hampir seluruh permukaan ruang, dibandingkan dengan ruang tanpa *anidolic*. Pada titik 10 m dari jendela, sistem *anidolic* terbukti dapat meningkatkan nilai iluminan pada semua orientasi. Analisis kesilauan menunjukkan bahwa ruangan yang dilengkapi dengan sistem *anidolic* memungkinkan distribusi pencahayaan yang harmonis tanpa menciptakan silau yang tidak nyaman. Kinerja *anidolic* dipengaruhi oleh kondisi siang hari dan orientasi bangunan.

4. (Roshan *dkk.*, 2016)

Dalam penelitiannya yang berjudul “*Analysis of Anidolic Daylighting System Parameters in Tropical Climate*”, peneliti mencoba menguji uji kinerja andiolik dengan mensimulasikan beberapa variabel komponen *anidolic* dengan bantuan perangkat lunak. Penelitian ini dilakukan dengan menguji bentuk saluran dan lebar saluran yang paling cocok diaplikasikan. Penelitian menggunakan model simulasi yang dirancang pada perangkat lunak IES<VE>, pada kondisi langit tropis menengah dan mendung Malaysia, dengan orientasi selatan dan timur. Model simulasi dirancang dengan lebar ruangan 5 m, dan ketinggian plafond 2.7 m. Jarak antar distributor adalah 1.5 m, dengan titik ukur terjauh 8.2 m, dengan total 20 titik distribusi. Simulasi 1 dilakukan dengan tiga bentuk saluran. M1 berbentuk persegi panjang (3m x 12 m). M2 berbentuk trapezium dengan panjang lebar depan 3 m, lebar belakang 2 m, dan panjang saluran 12 m. Dan M3 adalah kebalikan dari konfigurasi 2. Simulasi 2 dilakukan dengan tiga lebar saluran berbeda. M4 lebar saluran 1 m, M5 lebar saluran 2 m, dan M6 3 kotak dengan lebar 1 m. Pengukuran dilakukan pada 2 titik, yaitu E7 (panjang saluran 12 m) dan E20 (panjang saluran 20 m). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *anidolic* dalam bentuk persegi panjang dengan tiga meter (M1) di bawah langit mendung dan kondisi langit menengah dalam ukuran 12 dan 20 meter lebih baik daripada kasus lain dalam mentransfer siang hari ke area belakang di gedung perkantoran.

5. (Linhart *dkk.*, 2010)

Dalam penelitiannya yang berjudul “*Performance of Anidolic Daylighting Systems in Tropical Climates – Parametric Studies for Identification of Main Influencing Factors*”, penelitian ini menyajikan hasil studi parametrik pada *Anidolic Integrated Ceilings* (AIC), untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi kinerja dari AIC pada iklim tropis dengan kondisi langit Singapura. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada daerah tropis, AIC mampu bekerja lebih efisien dengan menggunakan bahan pelapis perak / silver dengan reflektansi 98%. Ketika lebar saluran dari referensi saluran 5 m di turunkan menjadi 1 m, terjadi penurunan kinerja AIC dari 32.5% menjadi 27.3 %. Penurunan kinerja AIC juga terjadi seiring dengan semakin panjangnya saluran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan kinerja mulai dari 1 m ke 18 m panjang saluran. Penurunan ini tidak terjadi secara signifikan jika seluruh lapisan menggunakan bahan pelapis perak/ silver dengan reflektansi 98%. Dalam hal ini, penurunannya kira-kira 0.9% per meter. Sudut bukaan pada komponen eksternal AIC juga mempengaruhi kinerja AIC. Dari kasus referensi pada gedung tanpa fasad dengan sudut bukaan 90°, terjadi penurunan efisiensi kinerja AIC sekitar 18% ketika sudut bukaan diperkecil menjadi 50°. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat ansfer cahaya ke dalam ruang kantor yang lebih dalam.

Tabel 6. Penelitian Terdahulu

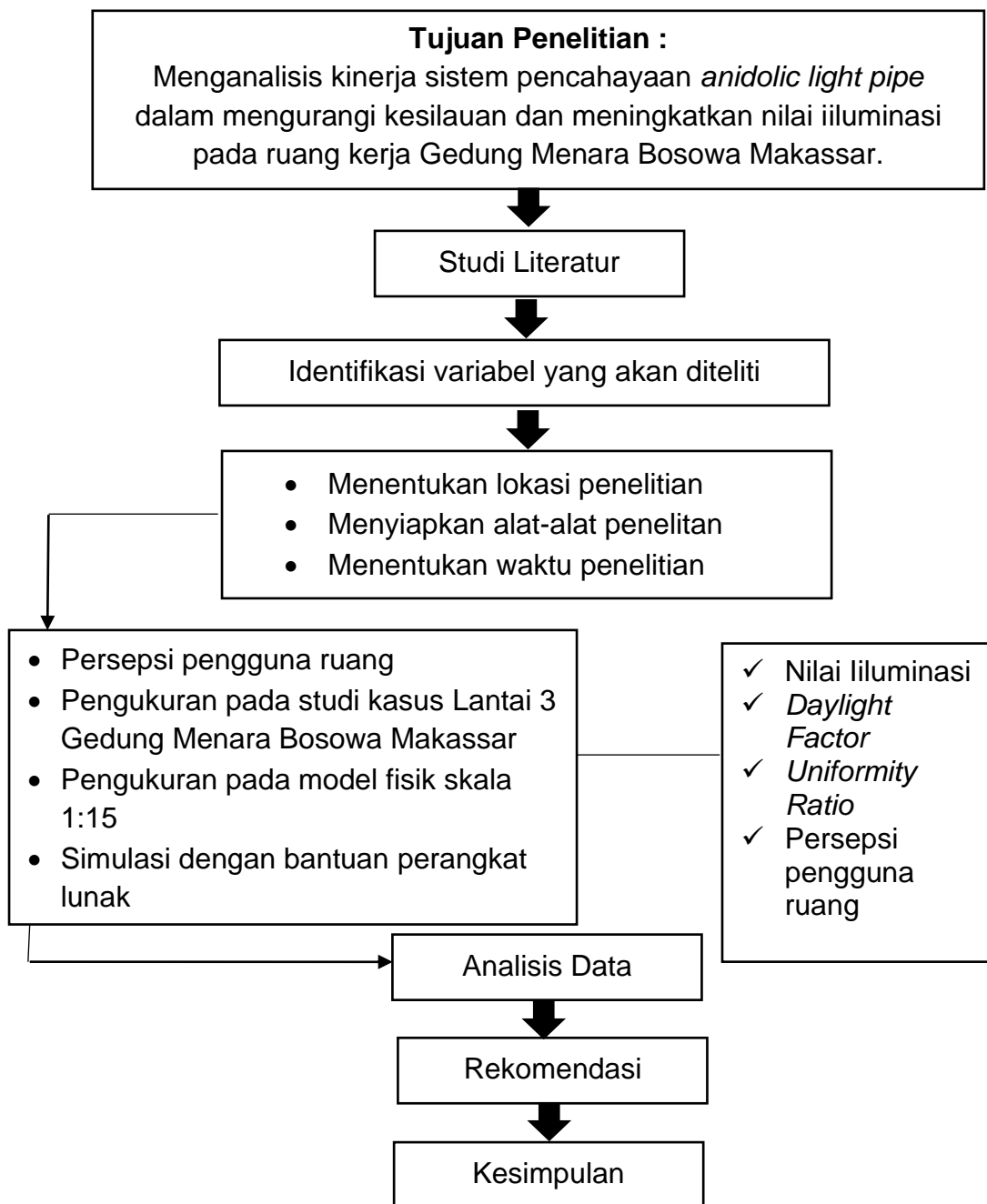
No	Judul	Peneliti	Tujuan Peneltian	Kesimpulan	Perbedaan
1	<i>Advanced Daylighting System for Deep-Plan Office</i>	(Baharudd in, 2010)	Menganalisis kinerja sistem pencahayaan alami untuk mentranser pencahayaan alami ke ruang yang lebih dalam.	<i>Anidolic Light Pipe</i> dapat mengurangi iiluminasi pada area dekat jendela karena <i>shading</i> eksternalnya, dapat meningkatkan	Penambahan metode peneilitian berupa pengukuran pada studi kasus gedung kantor, pengukuran pada model fisik, dan jenis

No	Judul	Peneliti	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Perbedaan
				penerangan di area ruang dalam, dan dapat meningkatkan nilai keseragaman siang hari di area ruang dalam, yang meningkatkan kualitas pencahayaan dalam kantor.	variabel saluran, kolektor, dan reflektansi material yang disimulasikan.
2	<i>An East-Facing Anidolic Daylighting System on a Tropical Urban House</i>	(Binarti & Satwiko, 2013)	Menganalisis penggunaan sistem pencahayaan <i>anidolic</i> pada sisi timur di rumah perkotaan Yogyakarta.	Pemasangan sistem pencahayaan <i>anidolic</i> dapat meningkatkan penerangan ruang tamu pada siang hari tanpa meningkatkan suhu udara dalam ruangan. ADS dapat menjadi solusi yang menjanjikan untuk masalah pencahayaan alami di daerah tropis	Metode penelitian berupa pengukuran pada studi kasus gedung kantor, orientasi pemasangan <i>anidolic</i> , dan jenis variabel saluran, kolektor, dan reflektansi material yang disimulasikan.
3	<i>A Combined Method for an Exhaustive Investigation of the Anidolic Ceiling</i>	(Daich dkk., 2021)	Menganalisis mengenai kinerja <i>anidolid</i> dalam meningkatkan kualitas pencahayaan alami di dalam ruang dengan	<i>Anidolic Ceilling</i> berkontribusi pada tingkat pencahayaan yang memadai di ruang dalam dan	Metode penelitian berupa pengukuran pada studi kasus gedung kantor dan jenis variabel saluran,

No	Judul	Peneliti	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Perbedaan
	<i>Effect on Improving Indoor Office Daylight Quality</i>		menggunakan metode <i>HDR Photography</i> dan evaluasi subjektif.	mengurangi silau terutama di area yang terletak di dekat jendela oleh elemen <i>anidolic</i> eksternalnya.	kolektor, dan reflektansi material yang disimulasikan.
4	<i>Analysis of Anidolic Daylighting System Parameters in Tropical Climate</i>	(Roshan dkk., 2016)	menganalisis uji kinerja andiolik dengan mensimulasikan komponen saluran <i>anidolic</i> dengan bantuan perangkat lunak	<i>Saluran anidolic</i> dengan bentuk persegi panjang dengan lebar 3 meter (M1) di bawah langit mendung dan kondisi langit menengah pada titik ukur 12 dan 20 meter dari jendela lebih baik daripada kasus lain dalam mentransfer pencahayaan alami ke area belakang di gedung perkantoran.	Metode penelitian berupa pengukuran pada studi kasus gedung kantor dan jenis variabel saluran, kolektor, dan reflektansi material yang disimulasikan.
5	<i>Performance of Anidolic Daylighting</i>	(Linhart dkk., 2010)	Menyajikan hasil studi parametrik pada <i>Anidolic</i>	Lapisan reflektor, lebar dan panjang saluran, dan	Penambahan metode penelitian berupa

No	Judul	Peneliti	Tujuan Penelitian	Kesimpulan	Perbedaan
	<i>Systems in Tropical Climates – Parametric Studies for Identification of Main Influencing Factors</i>		Integrated Ceilings (AIC), untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi kinerja dari AIC pada iklim tropis dengan kondisi langit Singapura.	sudut bukaan kolektor berpengaruh terhadap kualitas kinerja <i>anidolic</i> .	pengukuran pada studi kasus gedung kantor, pengukuran pada model fisik, dan jenis variabel saluran, kolektor, dan reflektansi material yang disimulasikan.

2.4 Kerangka Pikir



Gambar 17. Kerangka Pikir