

**MODEL PENCAHAYAAN ALAMI RUANG KELAS
BERBASIS PERSEPSI VISUAL SISWA SEKOLAH DASAR
DAN MENENGAH DI AREA TROPIS**

DAYLIGHTING MODEL OF CLASSROOMS BASED ON STUDENTS'
VISUAL PERCEPTION IN PRIMARY AND SECONDARY SCHOOLS
IN THE TROPICS

**IRNAWATY IDRUS
P1300315004**



PROGRAM STUDI S3 ILMU ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020

MODEL PENCAHAYAAN ALAMI RUANG KELAS
BERBASIS PERSEPSI VISUAL SISWA SEKOLAH DASAR DAN
MENENGAH DI AREA TROPIS

Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor

Program Studi S3
Ilmu Arsitektur

Disusun dan diajukan oleh

IRNAWATY IDRUS
P1300315004

kepada

PROGRAM STUDI S3 ILMU ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020

DISERTASI**MODEL PENCAHAYAAN ALAMI RUANG KELAS BERBASIS
PERSEPSI VISUAL SISWA SEKOLAH DASAR DAN
MENENGAH DI AREA TROPIS**

Disusun dan diajukan oleh


IRNAWATY IDRUS
Nomor Pokok P1300315004

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi

pada tanggal 27 Oktober 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasihat,


Prof. Dr. Ir. H. Muh. Ramli Rahim, M.Eng
Promotor

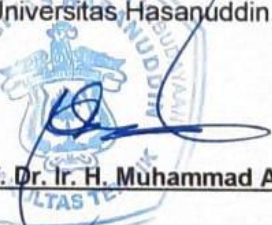

Prof. H. Baharuddin Hamzah, ST, M.Arch, Ph.D
Ko-Promotor


Dr. Ir. Nurul Jamala Bangsawan, MT.
Ko-Promotor

Ketua Program Studi
S3 Ilmu Arsitektur


Dr. Ir. Nurul Jamala Bangsawan, MT

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,


Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Imawaty Idrus

Nomor pokok : P1300315004

Program studi : S3 Ilmu Arsitektur

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 27 Oktober 2020

Yang menyatakan



Imawaty Idrus

KATA PENGANTAR



Dengan memanjatkan Puji dan Syukur ke hadirat Allah SWT atas segala Rahmat dan Karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan disertasi yang berjudul “Model Pencahayaan Alami Ruang Kelas Berbasis Persepsi Visual Siswa Sekolah Dasar dan Menengah di Area Tropis”, sebagai salah satu syarat kelulusan dalam Program Pendidikan Doktor Ilmu Arsitektur Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis berterima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan kontribusi dalam menyelesaikan disertasi ini. Selanjutnya ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA. sebagai Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT, sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. H. Edward Syarif, ST, MT. sebagai Ketua Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Ramli Rahim, M.Eng, selaku Promotor yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penyusunan disertasi.
5. Bapak Prof. H. Baharuddin Hamzah, ST.,M.Arch, Ph.D, selaku Kopromotor-1 dan Wakil Dekan 1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penyusunan disertasi.
6. Ibu Dr. Ir. Nurul Jamala Bangsawan, MT., selaku Kopromotor-2 dan Ketua Program Studi Doktor Ilmu Arsitektur Fakultas Teknik Universitas

Hasanuddin, yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penyusunan disertasi.

7. Seluruh dosen dan staf administrasi pada Program Studi Doktor Ilmu Arsitektur yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberi bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan disertasi.
8. Teristimewa untuk ayahanda Dr. Ir. H. Muhammad Idrus Ompo, Sp. PSDA dan ibunda Hj. Ratna Idrus Ompo, yang telah memberikan do'a dan motivasi kepada penulis untuk dapat menyelesaikan pendidikan doktor.
9. Suami tercinta Muh. Iqbal Wahab, ST dan anak-anak tersayang Muh. Rifqi Assyauqi Iqbal, Rafiqah Putri Rifaya Iqbal, Muh. Raffi Alfarizqi Iqbal dan Muh. Reyza Raffasya Iqbal, yang telah memberikan dukungan, doa, dan motivasi kepada penulis.
10. Kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberi dukungan yang sangat berarti sehingga penulisan disertasi dapat terselesaikan.

Semoga Disertasi ini dapat bermanfaat khususnya bagi perkembangan ilmu Arsitektur di masa yang akan datang, serta bernilai ibadah disisi Allah SWT. Aamiin Yaa Rabbal Alamiin.

Makassar, 27 Oktober 2020

Penulis,

Irnawaty Idrus

ABSTRAK

IRNAWATY IDRUS. *Model Pencahayaan Alami Ruang Kelas Berbasis Persepsi Visual Siswa Sekolah Dasar dan Menengah di Kota Makassar.* (Promotor: **Ramli Rahim**; Ko-promotor: **Baharuddin Hamzah** dan **Nurul Jamala**).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode penilaian kenyamanan visual alternatif berdasarkan persepsi siswa di ruang kelas dengan pencahayaan alami, selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengusulkan rekomendasi desain bentuk ruang kelas yang dapat memenuhi syarat-syarat kenyamanan visual. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data persepsi siswa dan intensitas pencahayaan alami dari 25 ruang kelas yang terletak di tujuh sekolah di Makassar, Indonesia. Sebanyak 737 siswa menanggapi penelitian ini. Penelitian ini dilakukan dari pagi hingga siang di masing-masing sekolah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar siswa, yaitu sebanyak 50,2%, merasakan bahwa tingkat pencahayaan alami dalam kategori "*Perceptible*", dan hanya 8,1% yang merasa "*Intolerable*". Hasil pengukuran intensitas siang hari dari keseluruhan sampel pada tahap awal dan lanjutan, menunjukkan hanya 17 dari 66 kelas atau sebesar 26% kelas yang memenuhi standar minimal Standar Nasional Indonesia (SNI), dan sebanyak 74% kelas tidak memenuhi standar. Dengan menggunakan metode baru berdasarkan persepsi siswa, diperoleh kesimpulan bahwa sebanyak 28% kelas dikategorikan "*Acceptable*", sebanyak 48% kelas dikategorikan "*Preferred*", dan sekitar 24% tidak termasuk dalam kategori. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kelas yang tidak memenuhi nilai rekomendasi SNI, namun masih dapat diterima menurut persepsi siswa. Metode penilaian baru ini dapat menjadi alternatif tambahan bagi desainer untuk menilai kenyamanan ruangan dengan pencahayaan alami sesuai preferensi pengguna. Selain metode penilaian, penulis juga merekomendasikan desain bentuk ruang kelas yang dapat memenuhi tiga unsur kenyamanan visual, yaitu kuantitas cahaya, distribusi cahaya dan kesilauan. Penelitian dilakukan dengan metode simulasi software pencahayaan *Ecotect Analysis 2010*, yang kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan *Radiance*. Sebanyak 24 tipe desain ruang kelas SD, SMP dan SMA yang disimulasikan. Desain yang dihasilkan kemudian divalidasi terhadap 5 tipe ruang kelas. Dari penelitian ini diperoleh rekomendasi desain ruang kelas dengan pencahayaan alami yang nyaman visual. Produk yang dihasilkan dapat menjadi masukan bagi pemerintah, desainer, dan para stakeholders dalam menetapkan standar perancangan bangunan pendidikan milik pemerintah yang mendukung prinsip *Sustainable Design*.

Kata Kunci : Kenyamanan Visual, Ruang Kelas, Persepsi Siswa.

ABSTRACT

IRNAWATY IDRUS. *Daylighting Model of Classrooms Based on Students' Visual Perception In Primary And Secondary Schools In The Tropics*
(Promotor: **Ramli Rahim**; Ko-promotor: **Baharuddin Hamzah** dan **Nurul Jamala**).

This study aims to develop an alternative visual comfort assessment method based on students' perceptions in a classroom with natural lighting. In addition, this study also aims to propose classroom design recommendations that meet the requirements of visual comfort. The research was conducted by collecting data on student perceptions and daylight intensity from 25 classrooms located in seven schools in Makassar, Indonesia. A total of 737 students responded to this study. This research was conducted from morning to noon in each school. The results showed that the majority of students, as much as 50.2%, felt that the level of natural lighting was in the "Perceptible" category, and only 8.1% felt "Intolerable". The results of measuring the daylight intensity of the entire sample at the initial and advanced stages showed that only 17 of the 66 classes or 26% of the classes met the minimum standards for the Indonesian National Standard (SNI), and as many as 74% of the classes did not meet the standards. By using the new method based on students' perceptions, it was concluded that as many as 28% of classes were categorized as "Acceptable", as much as 48% of classes were categorized as "Preferred", and about 24% were not included in the category. This shows that there are classes that do not meet the SNI recommendation value, but are still acceptable according to students' perceptions. This new assessment method can be an additional alternative for designers to assess the comfort of a room with natural lighting according to user preferences. In addition to the assessment method, the author also recommends the design of a classroom that can meet the three elements of visual comfort, namely light quantity, light distribution and glare. The research was conducted using a simulation method of Ecotect Analysis 2010 lighting software, which was then further analyzed using Radiance. A total of 24 types of classroom designs for SD, SMP and SMA were simulated. The design was validated against 5 types of classrooms. From this research, we obtain recommendations for classroom design with natural lighting that is visually comfortable. These design products can be used as input for the government, designers, and stakeholders in setting the design guidelines for government-owned educational buildings that support the principles of Sustainable Design.

Keywords : Visual Comfort, Classrooms, Students' Perception.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	7
D. Kegunaan Penelitian	7
E. Ruang Lingkup/ Batasan Penelitian	8
F. Sistematika Penulisan	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Cahaya Matahari & Pencahayaan Alami	10
1. Pengertian Cahaya	10
2. Pencahayaan Pada Mata Manusia	13
3. Pencahayaan Alami	14
B. Kenyamanan Visual	33
1. Pengertian	33
2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Visual	33
3. Persepsi Visual	40

4. Metode Pengujian Kenyamanan Visual	43
C. Analisis Pencahayaan Alami dengan Metode Simulasi Digital	46
1. Metode Kalkulasi Simulasi Digital	46
2. Langkah-langkah Perhitungan Simulasi Digital	50
D. Kebaharuan Penelitian (Novelty)	51
E. Skema Kerangka Pikir Penelitian	55
BAB III	56
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	56
1. Lokasi Penelitian	56
2. Waktu Penelitian	58
B. Populasi dan Sampel	58
1. Survey Tahap Awal	59
2. Tahap Survey Lanjutan	66
C. Survey dan Observasi	76
D. Variabel Penelitian	78
E. Instrumen Pengumpulan Data	80
1. Jenis Data	80
2. Alat Pengumpul data	80
F. Simulasi Pencahayaan Alami Ruang Kelas	85
G. Defenisi Operasional	85
BAB IV	87
A. Kondisi Pencahayaan Alami Internal Ruang Kelas	87
1. Survey Awal (Preliminary Survey)	87

2. Tahap Survey Lanjutan	101
B. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Persepsi Kenyamanan Visual pada Ruang Kelas dengan Penerangan Alami	118
C. Kondisi Kenyamanan Visual Siswa pada Ruang Kelas dengan Penerangan Alami	122
1. SD Inpres Negeri Ujung Pandang Baru	125
2. SD Inpres Daya I	127
3. SMP Negeri 29 Makassar	130
4. SMP Negeri 10 Makassar	132
5. SMA Negeri 2 Makassar	134
6. SMA Negeri 4 Makassar	136
7. SMA Negeri 21 Makassar	138
8. Keseluruhan Sampel Penelitian Kenyamanan Visual Siswa	139
D. Metode Daylight Comfort Probability (i-DCP)	144
1. Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas UP-I	146
2. Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas UP-II	146
3. Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas UP-III	147
4. Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas ID-I	147
5. Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas ID-II	148
6. Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas ID-III	149
7. Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas ID-IV	149
8. Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 29-I	150
9. Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 29-II	150

10.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 29-III	151
11.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 29-IV	151
12.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 10-I	152
13.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 10-II	152
14.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 10-III	153
15.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 04-I	153
16.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 04-II	154
17.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 04-III	154
18.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 04-IV	155
19.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 04-V	155
20.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 02-I	156
21.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 02-II	156
22.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 02-III	157
23.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 21-I	157
24.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 21-II	158
25.	Penilaian Kenyamanan Pencahayaan Alami di Kelas 21-III	158
26.	Validasi Metode Daylight Comfort Probability (i-DCP)	161
E.	Permodelan Pencahayaan Alami Ruang Kelas Berbasis Kenyamanan Visual Siswa	163
1.	Pengaturan Data Simulasi pada Software Ecotect	164
2.	Simulasi Pencahayaan Alami Ruang Kelas Sekolah Dasar (SD)	

3. Simulasi Pencahayaan Alami Ruang Kelas Sekolah Menengah Pertama (SMP)	172
4. Simulasi Pencahayaan Alami Ruang Kelas Sekolah Menengah Atas (SMA)	180
5. Simulasi Pencahayaan Validasi Bentuk Desain.	189
6. Visualisasi Desain Ruang Kelas SD, SMP, SMA	195
7. Spesifikasi Desain Eksperimen Ruang Kelas SD, SMP, dan SMA	196
BAB V	199
A. KESIMPULAN	199
B. SARAN	201
DAFTAR PUSTAKA	203

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Spektrum Matahari pada Permukaan Bumi (Lechner, 2001) .	10
Gambar 2. Spektrum Cahaya yang Terlihat Mata (Lechner, 2001).....	11
Gambar 3. Cahaya yang Jatuh pada Retina Diteruskan ke Otak (Lechner, 2001).....	14
Gambar 4. Sun Path Kota Makassar	19
Gambar 5. Tiga Komponen Cahaya Langit yang Sampai pada Suatu Titik di Bidang Kerja (Sumber SNI: 03-2396-2001)	22
Gambar 6. Ilustrasi Daylight Factor pada suatu ruang.....	24
Gambar 7. a) Penentuan ketinggian bidang kerja 0.75 m dari lantai.	28
Gambar 8. Penjelasan mengenai jarak d.....	29
Gambar 9. Tinggi dan lebar cahaya efektif	30
Gambar 10. Ukuran dan kedekatan menentukan sudut pandang.....	34
Gambar 11. Tingkat penerangan yang tinggi diperlukan untuk menggantikan/memberi keseimbangan pada kontras yang rendah. (Sumber: Lechner, 2001)	35
Gambar 12. Grafik hubungan performa visual dan tingkat iluminasi. (Sumber: Lechner, 2001)	36
Gambar 13. Sumber Silau Langsung. Sumber: Lechner (2001)	39
Gambar 14. Silau Langsung (Lechner, 2001)	40
Gambar 15. Ilustrasi Perhitungan dan Hasil Renderasi dengan Metode Raytracing (Sumber: Iversen, 2013)	47

Gambar 16. Ilustrasi Perhitungan dan Hasil Renderasi dengan Metode Radiosity (Sumber Iversen, 2013).....	48
Gambar 17. Ilustrasi Perhitungan dan Hasil Renderasi dengan Metode Photon Mapping (Iversen, 2013).....	49
Gambar 18. Kerangka Pikir Penelitian	55
Gambar 19. Peta Survey Penelitian (Sumber: Statistik, 2012)	57
Gambar 20. Foto Kelas di SD Unggulan Toddopuli	60
Gambar 21. Foto Sekolah SDN Sudirman 1	61
Gambar 22. Foto Sekolah SD Inpres Tamalanrea 4	62
Gambar 23. Foto Sekolah SMPN 33 Makassar	63
Gambar 24. Foto Sekolah SMPN 20 Makassar	64
Gambar 25. Foto Sekolah SMPN 08 Makassar	65
Gambar 26. Foto Sekolah SMPN 30 Makassar	65
Gambar 27. Foto Sekolah SD Ujung Pandang Baru 1 Makassar	66
Gambar 28. Foto Sekolah SD Inpres Daya 1 Makassar	68
Gambar 29. Foto Sekolah SMPN 29 Makassar	69
Gambar 30. Foto Sekolah SMPN 10 Makassar	71
Gambar 31. Foto Sekolah SMAN 2 Makassar	72
Gambar 32. Foto Sekolah SMAN 4 Makassar	73
Gambar 33. Foto Sekolah SMAN 21 Makassar	74
Gambar 34. Lux Meter Digital ; Hobo Data Logger with External Sensor	80
Gambar 35. (a) Penomoran Posisi Duduk; (b) Penentuan Titik Ukur dalam Ruang Kelas	84

Gambar 36. Kondisi Eksisting SD Unggulan Toddopuli Makassar.....	88
Gambar 37. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SD Sudirman 1	90
Gambar 38. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SD Inpres Tamalanrea 1.....	91
Gambar 39. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SMP Negeri 33 Makassar...	93
Gambar 40. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SMP Negeri 20 Makassar...	95
Gambar 41. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SMP Negeri 8 Makassar.....	97
Gambar 42. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SMP Negeri 30 Makassar...	99
Gambar 43. Barchart Intensitas Pencahayaan Alami Survey Awal (All Cases)	101
Gambar 44. Analisis Lokasi Ruang Kelas UP-1, UP-2, UP-3	103
Gambar 45. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SD Inpres Negeri Ujung Pandang Baru.....	103
Gambar 46. Analisis Lokasi Ruang Kelas ID-I, ID-2, ID-3, ID-4.....	105
Gambar 47. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SD Inpres Daya	105
Gambar 48. Analisis Lokasi Ruang Kelas 29-I, 29-II, 29-III dan 29-IV...	107
Gambar 49. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SMP Negeri 29 Makassar.	107
Gambar 50. Analisis Lokasi Ruang Kelas 10-I, 10-II, dan 10-III	108
Gambar 51. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SMP Negeri 10 Makassar.	109
Gambar 52. Analisis Lokasi Ruang Kelas 02-I, 02-II, dan 02-III	111
Gambar 53. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SMA Negeri 2 Makassar...	111
Gambar 54. Analisis Lokasi Ruang Kelas 04-I, 04-II, 04-III, 04-IV, 04-V dan 04-VI	113
Gambar 55. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SMA Negeri 4 Makassar...	113

Gambar 56. Analisis Lokasi Ruang Kelas 21-I, 21-II, dan 21-III	115
Gambar 57. Kondisi Eksisting Ruang Kelas SMA Negeri 21 Makassar.	115
Gambar 58. Barchart Intensitas Pencahayaan Alami Keseluruhan Ruang Kelas.....	116
Gambar 59. Histogram Chart Persepsi DA dan Persepsi DU	119
Gambar 60. Histogram Chart Persepsi SC, Persepsi GP dan Persepsi <i>Overall Visual Comfort</i>	120
Gambar 61. Grafik Persepsi Kenyamanan Visual Siswa SD	140
Gambar 62. Grafik Persepsi Kenyamanan Visual Siswa SMP	141
Gambar 63. Grafik Persepsi Kenyamanan Visual Siswa SMA	142
Gambar 64. Denah & Potongan Tipikal Ruang SD	165
Gambar 65. A.Daylight Analysis SD Type 1 Orientasi Timur-Barat (T/B); B. Daylight Analysis SD Type 1 Orientasi Utara-Selatan (U/S)	165
Gambar 66. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SD Type 1 ...	166
Gambar 67. A.Daylight Analysis SD Type 2 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SD Type 2 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	167
Gambar 68. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SD Type 2 ...	167
Gambar 69. A.Daylight Analysis SD Type 3 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SD Type 2 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	168
Gambar 70. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SD Type 3 ...	169
Gambar 71. A. Daylight Analysis SD Type 4 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SD Type 4 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	170
Gambar 72. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SD Type 4 ...	171

Gambar 73. A.Daylight Analysis SMP Type 1 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SMP Type 1 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	172
Gambar 74. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SMP Type 1	173
Gambar 75. A.Daylight Analysis SMP Type 2 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SMP Type 2 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	174
Gambar 76. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SMP Type 2	175
Gambar 77. A.Daylight Analysis SMP Type 3 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SMP Type 3 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	176
Gambar 78. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SMP Type 3	177
Gambar 79. A.Daylight Analysis SMP Type 4 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SMP Type 4 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	178
Gambar 80. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SMP Type 4	179
Gambar 81. A.Daylight Analysis SMA Type 1 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SMA Type 1 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	180
Gambar 82. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SMA Type 1	182
Gambar 83. A.Daylight Analysis SMA Type 2 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SMA Type 2 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	183
Gambar 84. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SMA Type-2	183
Gambar 85. A.Daylight Analysis SMA Type 3 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SMA Type 3 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	184
Gambar 86. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SMA Type 3	186
Gambar 87. A.Daylight Analysis SMA Type 4 Orientasi Timur-Barat (T/B); B.Daylight Analysis SMA Type 4 Orientasi Utara-Selatan (U/S).....	187

Gambar 88. Ilustrasi 3D-Model Eksperimen Ruang Kelas SMA Type 4	187
Gambar 89. Daylight Analysis Type VM-01 Orientasi Timur-Barat (T/B);	189
Gambar 90. Daylight Analysis Type VM-02 Orientasi Timur-Barat (T/B);	190
Gambar 91. Daylight Analysis Type VM-03 Orientasi Timur-Barat (T/B);	191
Gambar 92. Daylight Analysis Type VM-04 Orientasi Timur-Barat (T/B);	192
Gambar 93. Daylight Analysis Type VM-05 Orientasi Timur-Barat (T/B);	193
Gambar 94. Tampak Bangunan Ruang Kelas Eksperimen	195
Gambar 95. Desain Interior Ruang Kelas Eksperimen	196
Gambar 96. Potongan Ruang Kelas Eksperimen	198
Gambar 97. Detail Pintu dan Jendela Ruang Kelas Eksperimen	198

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai <i>Daylight Factor</i> (DF) yang direkomendasikan (Sumber: Szokolay, 1980)	21
Tabel 2 Perbandingan hasil pengukuran data Luminansi Horizontal (Ea) (Sumber: Rahim, 2009).....	26
Tabel 3. Nilai faktor langit untuk bangunan umum	32
Tabel 4. Panduan untuk Tingkat Iluminasi (<i>IESNA</i>).....	37
Tabel 5. Ringkasan Fitur Indeks Pencahayaan & Kenyamanan (Sumber: Carlucci dkk., 2015)	44
Tabel 6. Karakteristik Ruang Kelas.....	76
Tabel 7. Spesifikasi Alat Ukur	81
Tabel 8. Kuesioner Kenyamanan Visual (Sumber: Penulis)	82
Tabel 9. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SD Negeri Unggulan Toddopuli Makassar.....	87
Tabel 10. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SD Negeri Sudirman 1 Makassar	89
Tabel 11. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SD Inpres Tamalanrea 4 Makassar	90
Tabel 12. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SMP Negeri 33 Makassar	92
Tabel 13. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SMP Negeri 20 Makassar	94
Tabel 14. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas,	96

Tabel 15. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SMP Negeri 30 Makassar	98
Tabel 16. Intensitas Pencahayaan Alami Survey Awal (<i>All Cases</i>).....	100
Tabel 17. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SD Inpres Negeri Ujung Pandang Baru.....	102
Tabel 18. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SD Inpres Daya-I	104
Tabel 19. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SMP Negeri 29 Makassar	106
Tabel 20. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SMP Negeri 10 Makassar	108
Tabel 21. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SMA Negeri 2 Makassar	110
Tabel 22. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas, SMA Negeri 4 Makassar	112
Tabel 23. Intensitas Pencahayaan Alami Ruang Kelas,	114
Tabel 24. Intensitas Pencahayaan Alami Keseluruhan Ruang Kelas	117
Tabel 25. Analisis Korelasi Bivariate Pearson	121
Tabel 26. Karakteristik Responden	123
Tabel 27. Metode Analisis Kenyamanan Visual Ruang Kelas	124
Tabel 28. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas SD Inpres Negeri Ujung Pandang Baru.....	125

Tabel 29. Analisis Faktor Kenyamanan Visual Ruang Kelas SD Inpres Negeri Ujung Pandang Baru	125
Tabel 30. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas	127
Tabel 31. Analisis Faktor Kenyamanan Visual Ruang Kelas	128
Tabel 32. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas SMP Negeri 29 Makassar	130
Tabel 33. Analisis Faktor Kenyamanan Visual Ruang Kelas SMP Negeri 29 Makassar	131
Tabel 34. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas SMP Negeri 10 Makassar	132
Tabel 35. Analisis Faktor Kenyamanan Visual Ruang Kelas SMP Negeri 10 Makassar	133
Tabel 36. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas SMA Negeri 2 Makassar	134
Tabel 37. Analisis Faktor Kenyamanan Visual Ruang Kelas SMA Negeri 2 Makassar	134
Tabel 38. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas SMA Negeri 4 Makassar	136
Tabel 39. Analisis Faktor Kenyamanan Visual Ruang Kelas SMA Negeri 4 Makassar	136
Tabel 40. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas SMA Negeri 21 Makassar	138

Tabel 41. Analisis Faktor Kenyamanan Visual Ruang Kelas SMA Negeri 21 Makassar	138
Tabel 42. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas SD	139
Tabel 43. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas SMP	141
Tabel 44. Kenyamanan Visual Siswa di Ruang Kelas SMA.....	142
Tabel 45. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Case-1).....	146
Tabel 46. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Case-2).....	146
Tabel 47. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Case-3).....	147
Tabel 48. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Case-4).....	147
Tabel 49. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas ID-II).....	148
Tabel 50. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas ID-III).....	149
Tabel 51. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas ID-IV)	149
Tabel 52. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 29-I)	150
Tabel 53. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 29-II)	150
Tabel 54. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 29-III)	151
Tabel 55. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 29-IV).....	151
Tabel 56. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 10-I)	152
Tabel 57. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 10-I)	152
Tabel 58. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 10-I)	153
Tabel 59. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 04-I)	153
Tabel 60. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 04-II)	154
Tabel 61. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 04-III)	154
Tabel 62. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 04-IV).....	155

Tabel 63. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 04-V).....	155
Tabel 64. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 02-I)	156
Tabel 65. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 02-II)	156
Tabel 66. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 02-III)	157
Tabel 67. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 21-I)	157
Tabel 68. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 21-II)	158
Tabel 69. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (Kelas 21-III)	158
Tabel 70. Persepsi Kenyamanan Visual Siswa (All Cases)	159
Tabel 71. Validasi Metode i-DCP dengan Analisis Faktor Kenyamanan Visual Ruang Kelas.....	161
Tabel 72. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SD Type-1	166
Tabel 73. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SD Type-1	166
Tabel 74. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SD Type-2.....	167
Tabel 75. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SD Type-2.....	168
Tabel 76. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SD Type-3.....	169
Tabel 77. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SD Type-3.....	169
Tabel 78. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SD Type-4	170
Tabel 79. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SD Type-4.....	170
Tabel 80. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SMP Type-1	173
Tabel 81. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SMP Type-1	173
Tabel 82. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SMP Type-2	174
Tabel 83. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SMP Type-2	175
Tabel 84. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SMP Type-3.....	176

Tabel 85. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SMP Type-3	176
Tabel 86. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SMP Type-4	178
Tabel 87. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SMP Type-4	178
Tabel 88. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SMA Type-1	181
Tabel 89. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SMA Type-1	181
Tabel 90. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SMA Type-2	182
Tabel 91. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SMA Type-2	184
Tabel 92. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SMA Type-3	185
Tabel 93. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SMA Type-3	185
Tabel 94. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas SMA Type-4	186
Tabel 95. Analisis Cahaya Alami Rg.Kelas SMA Type-4	188
Tabel 96. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas Type VM-01	189
Tabel 97. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas Type VM-02	190
Tabel 98. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas Type VM-03	191
Tabel 99. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas Type VM-04	192
Tabel 100. Intensitas Cahaya Alami Rg.Kelas Type VM-05	193

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Manusia dan lingkungan hidup tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan akan cahaya, baik cahaya alami yang dihasilkan oleh matahari ataupun cahaya buatan yang berasal dari penerangan elektrik. Cahaya secara umum berperan penting dalam penyampaian informasi visual sehingga dapat diakses oleh indera penglihatan dan kemudian disampaikan kepada otak untuk diolah menjadi sebuah keputusan. Tanpa cahaya, indera penglihatan tidak akan dapat berfungsi dengan baik. Dalam arsitektur, pencahayaan memainkan peranan yang sangat penting, baik dalam menunjang fungsi ruang dalam berbagai kegiatan dalam ruang, membentuk citra visual estetis, maupun menciptakan kenyamanan dan keamanan bagi para pengguna ruang (Manurung, 2009).

Sebagai daerah tropis, Indonesia memiliki potensi pencahayaan alami yang sangat besar. Menurut penelitian mengenai pengukuran durasi penyinaran matahari di kota Makassar yang merupakan salah satu wilayah pesisir provinsi Sulawesi Selatan, frekuensi kejadian langit cerah (*clear sky*) sebesar 15.14% , langit berawan (*intermediate sky*) sebesar 69.78% dan langit mendung (*overcast sky*) sebesar 15.08% (Rahim dkk, 2004). 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 iluminasi difus di Makassar mulai tahun 1995 sampai dengan 2000, menyatakan bahwa nilai iluminansi horizontal dari langit yang tidak terhalang adalah 14,35 Klx (Rahim, 2009). Nilai tersebut jauh lebih tinggi apabila dibandingkan dengan nilai iluminansi horizontal di salah satu daerah sub Tropis yaitu Hong Kong. Penelitian mengenai iluminansi langit menyatakan nilai iluminansi horizontal dari langit yang tidak terhalang di Hong Kong adalah sebesar 10 Klx (Baharuddin, 2010). Hal tersebut menunjukkan peluang yang besar bagi bangunan di wilayah pesisir Sulawesi Selatan khususnya di Makassar untuk memanfaatkan pencahayaan alami siang hari pada bangunan.

Salah satu peran yang diberikan pencahayaan alami pada manusia adalah dalam hal kenyamanan. Peran ini diberikan tidak hanya dalam bangunan tetapi juga di luar bangunan. Terdapat dua kenyamanan yang dipengaruhi oleh pencahayaan alami pada manusia, yaitu Kenyamanan Visual dan Kenyamanan Termal. Kenyamanan visual terkait dengan cahaya alami yang membantu manusia dalam mengakses informasi visual tanpa mengganggu indera visual manusia. Kondisi visual yang terlalu gelap karena kurangnya cahaya akan menciptakan ketidaknyamanan bagi indera visual. Ketidaknyamanan ini juga akan mempengaruhi persepsi visual manusia terhadap lingkungan visualnya. Sebaliknya, tingkat iluminasi yang berlebihan yang ditimbulkan oleh cahaya alami juga akan menimbulkan ketidaknyamanan pada indera visual. Tingginya tingkat iluminasi cahaya

akan mengakibatkan silau dan berpengaruh pada kenyamanan visual, serta dapat berdampak negatif tidak hanya pada fisiologi, tetapi juga pada sisi psikologi manusia. Kekurangan maupun kelebihan cahaya akan membuat mata manusia menjadi cepat lelah. Kelelahan pada mata pun dapat menimbulkan berbagai efek yang buruk pada diri manusia.

Sebagai perencana, selain mempertimbangkan pencahayaan alami sebagai salah satu faktor pendukung untuk menciptakan bangunan hemat energi, harus juga tetap mempertimbangkan kenyamanan beraktivitas sehingga produktivitas kerja dapat semakin meningkat (Jamala dkk.,2015). Penerangan yang baik akan membantu dalam melakukan pekerjaan dengan baik dan nyaman. Walaupun terdengar sangat sederhana, tetapi pernyataan tersebut merupakan tujuan utama dari *lighting design*, yaitu untuk menciptakan kenyamanan, suasana menyenangkan, dan ruang yang fungsional bagi setiap orang di dalamnya (Lam, 1977).

Pencahayaan yang sesuai dengan kebutuhan dan aktivitas yang dilakukan, baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan, akan memberikan kenyamanan visual pada manusia. Kenyamanan visual yang tercipta itu tentu berdampak pada persepsi visual terhadap ruang tersebut, serta berbagai objek visual yang berada di dalamnya. Persepsi visual, atau respon manusia terhadap kondisi visual yang diakses oleh indera visualnya, sangat dipengaruhi oleh cahaya karena cahayalah yang memungkinkan untuk dapat mengakses informasi visual. Oleh karena itu, sangat penting

untuk dapat memenuhi kebutuhan cahaya secara tepat dan sesuai dengan kebutuhan sebuah ruang (Manurung, 2012).

Pada bangunan pendidikan, berhasilnya proses belajar mengajar terkait dengan seberapa nyamannya pengguna dalam beraktifitas di dalamnya. Kenyamanan pencahayaan menjadi sangat penting, mengingat sebagian besar informasi dalam proses belajar-mengajar melalui transfer visual. Axarli dan Tsikoudaki (2007) berpendapat bahwa kualitas pencahayaan dalam kelas berpengaruh sangat signifikan terhadap *performance* murid dan kegiatan belajar mengajar yang terjadi. Kondisi pencahayaan di dalam kelas akan sangat berpengaruh terhadap *learning performance* murid yang kemudian akan sangat berdampak ke *academic performance*-nya (Prihatmanti, 2016). Kualitas pencahayaan yang buruk dapat menyebabkan mengantuk, tidak bersemangat, dan susah untuk fokus ke mata pelajaran (Samani, 2012). Kondisi pencahayaan yang buruk bisa terjadi kerana adanya kesalahan sejak pada tahap perencanaan.

Suatu teori dikemukakan oleh Amin dkk. (2017) mengenai kenyamanan visual di ruang kelas. Berdasarkan penelitian *visual performance* yang dilakukan terhadap beberapa siswa di dalam ruang kelas ditemukan bahwa pada iluminasi ruang yang dibawah standar SNI (250 Lux), siswa masih nyaman secara visual dan dapat beraktifitas dengan baik.

Pada beberapa penelitian mengenai intensitas pencahayaan alami ruang kelas yang telah dilakukan beberapa peneliti di Indonesia, diantaranya Anderson (2008), Kurniawan (2008), Illahi (2013), Amin dkk

(2017), Prihatmanti (2016), Budiman (2016), dan Atthailah (2017) menyimpulkan bahwa sebagian besar intensitas pencahayaan alami ruang kelas yang diteliti berada dibawah standar SNI. Dalam hal pencahayaan, kurang optimalnya pencahayaan alami suatu bangunan bisa disebabkan oleh berbagai masalah. Hal ini disebutkan dalam SNI-03-2396-2001 tentang Perancangan Sistem Pencahayaan Alami Bangunan Gedung, dimana masuknya cahaya matahari bisa terhalang oleh bangunan itu sendiri, bangunan lain maupun lingkungan di sekitar bangunan. Berdasarkan pengamatan awal penulis, model dan luasan bukaan pada beberapa ruang kelas di sekolah-sekolah dasar dan menengah di makassar sangat bervariasi. Sehingga dapat dikemukakan beberapa problem statement penelitian ini antara lain, intensitas cahaya alami ruang kelas yang kurang baik, penilaian kenyamanan visual ruang yang hanya bersifat fotometrik tanpa memperhitungkan subyektifitas preferensi pengguna, dan belum adanya rekomendasi desain ruang kelas dengan pencahayaan alami yang memperhitungkan faktor-faktor kenyamanan visual pengguna.

Beberapa hal tersebut di atas yang mendasari peneliti untuk dapat menggali informasi lebih dalam dan menemukan solusi-solusi perancangan terkait pencahayaan alami pada ruang kelas sekolah dasar dan menengah. Informasi yang akan digali bukan hanya bersifat kuantitatif tetapi juga kualitatif, pencahayaan alami akan diukur menurut persepsi siswa sebagai parameter kenyamanan visual di ruang kelas. Oleh karena itu, penelitian ini juga akan berpotensi untuk menemukan suatu teori ataupun metode baru

mengenai standar iluminasi ruang kelas bagi siswa dengan rentang umur 10-19 tahun. Diharapkan dengan adanya karya tulis ini, menjadi tambahan referensi mengenai pedoman perancangan (*Design Guidelines*) pencahayaan alami khususnya pada ruang kelas sekolah negeri pada tingkat dasar dan menengah.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah kondisi pencahayaan alami internal yang diukur pada ruang kelas sekolah dasar dan menengah, studi kasus di kota Makassar.
2. Faktor-faktor apa sajakah yang berpengaruh pada kenyamanan visual pada ruang kelas dengan pencahayaan alami?
3. Bagaimanakah kondisi kenyamanan visual siswa dalam ruang kelas dengan pencahayaan alami, studi kasus di kota Makassar?
4. Bagaimanakah metode praktis penilaian kenyamanan visual ruang kelas berbasis persepsi siswa?
5. Bagaimanakah model ruang kelas yang bisa diterapkan sebagai guidelines untuk mengoptimalkan pencahayaan alami yang nyaman secara visual?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah melakukan riset mengenai pencahayaan alami pada ruang kelas dengan sasaran:

1. Untuk memperoleh data kondisi pencahayaan alami internal pada ruang kelas beberapa sekolah dasar dan menengah (SD, SMP dan SMA) di Kota Makassar.
2. Untuk mengetahui faktor yang berpengaruh pada kenyamanan visual pada ruang kelas dengan penerangan alami.
3. Untuk memperoleh data kondisi kenyamanan visual siswa-siswi pada ruang kelas dengan pencahayaan alami pada sekolah Dasar dan Menengah di Kota Makassar.
4. Untuk menemukan metode praktis untuk dapat menilai kenyamanan visual ruang kelas berbasis persepsi siswa.
5. Untuk menemukan model desain ruang kelas yang bisa diterapkan sebagai guidelines untuk mengoptimalkan pencahayaan alami yang nyaman secara visual.

D. Kegunaan Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Menambah referensi ilmu pengetahuan dalam bidang sains dan teknologi bangunan.

2. Memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu Arsitektur, utamanya dalam perencanaan sistem pencahayaan alami pada bangunan.
3. Menjadi pedoman perancangan (design guidelines) mengenai pencahayaan alami pada ruang kelas menurut tingkat pendidikan yang berbeda.

E. Ruang Lingkup/ Batasan Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini perlu ditentukan terlebih dahulu agar batas-batas penelitian dan pembahasannya menjadi jelas.

1. Penelitian ini pada bidang ilmu Arsitektur masuk dalam konsentrasi Pencahayaan Bangunan yang merupakan bagian dari bidang Sains dan Teknologi Bangunan.
2. Penelitian ini mengkaji pencahayaan alami dan persepsi kenyamanan visual pengguna di dalam ruang kelas, dikhususkan pada siswa sekolah dasar dan menengah.
3. Penelitian ini meneliti beberapa sampel yang berlokasi di kota Makassar, provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa bagian:

1. Bagian pertama, merupakan bab pendahuluan yang menguraikan latar belakang, relevansi dan pentingnya kenyamanan visual pada suatu

bangunan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

2. Bagian kedua, menjelaskan tentang kajian teori mencakup tinjauan literatur mengenai pencahayaan alami pada bangunan pendidikan utamanya pada ruang kelas dan solusi serta metode optimalisasi pencahayaan alami dan kenyamanan visual, memperkenalkan state-of-the-art penelitian tentang kenyamanan visual pada ruang kelas dengan pencahayaan alami.
3. Bagian ketiga, menjelaskan tentang metode penelitian dengan menguraikan jenis dan desain penelitian, lokasi penelitian, populasi dan teknik pengumpulan sampel, variabel penelitian, teknik dan alat pengumpulan data, teknik analisis data dan definisi operasional.
4. Bagian keempat, mengemukakan tentang hasil penelitian dan pembahasannya.
5. Bagian kelima, mengemukakan kesimpulan dan saran.

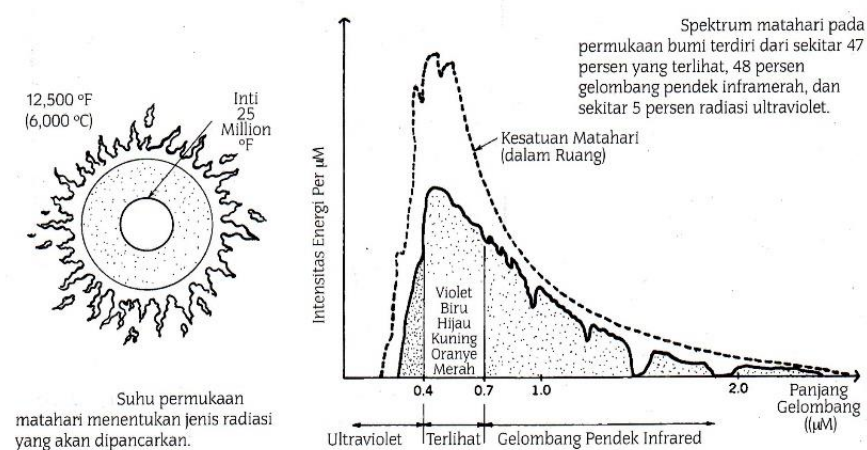
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Cahaya Matahari & Pencahayaan Alami

1. Pengertian Cahaya

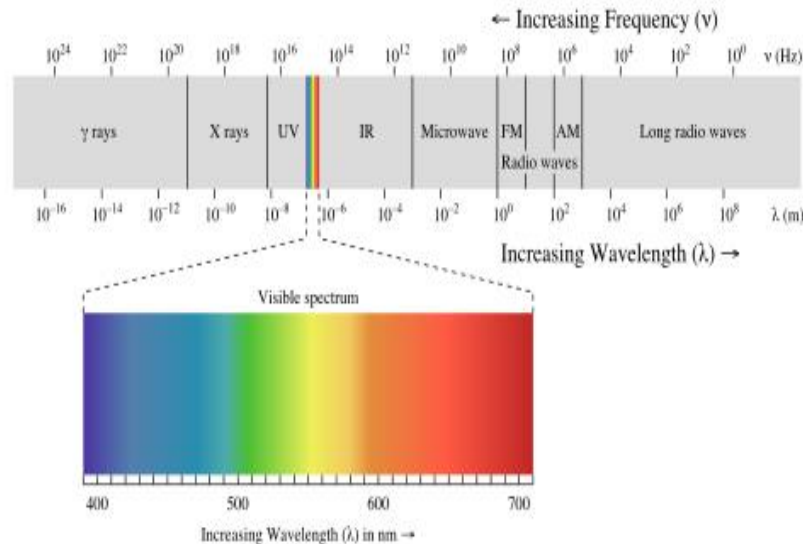
Menurut Lechner (2001), cahaya didefinisikan sebagai bagian dari spektrum elektromagnetik yang sensitif bagi penglihatan mata kita. Intensitas radiasi sinar matahari mencapai bumi sebagai fungsi panjang gelombang.



Gambar 1. Spektrum Matahari pada Permukaan Bumi (Lechner, 2001)

Cahaya yang dapat dilihat oleh mata adalah salah satunya bagian yang sangat kecil dari spektrum radiasi elektromagnetik yang luas. Spektrum ini meliputi gelombang radio, radiasi infra merah, cahaya yang terlihat oleh mata, radiasi ultraviolet, sinar X dan sinar gamma. Bagian dari

spectrum cahaya yang terlihat oleh mata berkisar antara frekuensi 4×10^{14} Hz hingga frekuensi 8×10^{14} Hz.



Gambar 2. Spektrum Cahaya yang Terlihat Mata (Lechner, 2001)

Menurut Mangunwijaya (2000), cahaya dapat diartikan sebagai arus partikel-partikel atau sebagai arus gelombang magnet elektro. Dari skala panjang gelombang sinar-sinar magnet elektro, spectrum cahaya merupakan salah satu mata rantainya dan semakin beralih juga warnanya, dari jingga violet hingga merah. Perpaduan warna-warna dari violet ke hijau ke kuning ke merah seperti tampak dalam pelangi berkesan netral, putih. Tetangga terdekat dengan sinar merah adalah sinar-sinar dengan frekuensi yang lebih rendah daripada frekuensi merah dan karenanya disebut sinar-sinar infra merah. Sinar infra merah adalah sinar-sinar panas. Tetangga di atas sinar-sinar violet disebut sinar ultra violet dan merupakan sinar-sinar yang berdaya kimia. Pengaruh panas dan kimia masih bekerja dalam

daerah sinar cahaya. Semakin jauh dari daerah asal sinar infra merah & ultra violet, semakin menurun juga pengaruh panas/ kimia. Sinar yang memancar dari matahari dan benda bercahaya mengeluarkan partikel-partikel yang sangat kecil. Radiasi sinar matahari menimbulkan kalor/ panas. Di luar spektrum cahaya matahari yang dapat ditangkap mata terdapat cahaya yang tidak dapat ditangkap mata dan menimbulkan kalor. Karena berada di luar spectrum warna yang dapat ditangkap oleh mata maka disebut sinar ultra violet.

Jadi perbedaan prinsip dari cahaya dan sinar matahari adalah bahwa cahaya merupakan spectrum elektromagnetik yang tertangkap oleh mata dan tidak menimbulkan kalor. Sinar Matahari adalah cahaya diluar spectrum warna yang tidak dapat ditangkap oleh mata, berupa sinar infra merah dan menimbulkan kalor. Sumber cahaya dapat berasal dari matahari ataupun lampu listrik. Cahaya akan memantul bila mengenai permukaan padat dan benda tersebut akan memancarkan cahaya itu. Kita melihat benda jika cahaya yang dipantulkan memasuki mata. Tanpa cahaya kita tidak dapat melihat apapun.

Cahaya dan terang adalah syarat untuk penglihatan manusia. Dalam kegelapan kita tidak dapat melihat apa-apa, sebaliknya dalam terang yang sangat berlebihan kita tidak tahan terhadap kesilauannya. Suatu daerah optimum antara terang maksimum dan minimum kita butuhkan untuk melihat dengan nyaman.

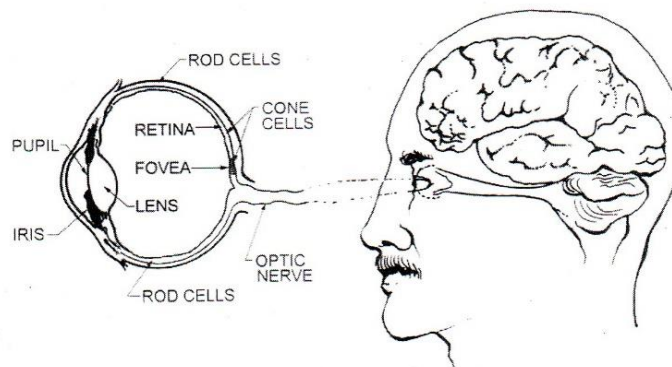
2. Pencahayaan Pada Mata Manusia

Mangunwijaya (2000) berpendapat bahwa penerangan yang baik adalah apabila mata kita dapat melihat apa yang ada di sekitar kita dengan jelas dan nyaman, atau dengan kata lain penerangan harus dapat memenuhi persyaratan fungsional dan persyaratan keamanan. Kurangnya cahaya yang diterima atau cahaya yang berlebih ditangkap oleh mata merupakan penyimpangan terhadap pencahayaan.

Menurut Rony (1998), penerangan yang memadai bisa mencegah terjadinya astenopia (WHO: keluhan atau kelelahan visual subjektif atau keluhan-keluhan yang dialami seseorang akibat menggunakan matanya) dan mempertinggi kecepatan dan efisiensi membaca. Penerangan yang kurang tidak menyebabkan penyakit mata, tetapi menyebabkan kelelahan mata. Arah datang cahaya yang tidak tepat pada posisi membaca atau menulis akan menyebabkan silau.

Penglihatan adalah kemampuan untuk mengumpulkan informasi sinar yang masuk ke dalam mata (Lechner, 2001). Penglihatan sangat bergantung pada ketersediaan cahaya. Mata adalah organ kompleks yang pada dasarnya berperan untuk mengkonversi cahaya menjadi sinyal sensorik yang dapat ditafsirkan dalam otak. Lapisan luar mata disebut *sclera* dan memiliki bagian yang transparan di bagian depan yang disebut kornea. Cahaya masuk melalui kornea, melewati diafragma yang disebut iris. Bagian berwarna dari mata yang berupa lubang yang ukurannya bisa berubah-ubah disebut pupil. Lensa Kristal dibelakang iris (didukung dengan

permukaan kornea yang melengkung) bekerja untuk memfokuskan cahaya ke permukaan kembali ke dalam mata yang berisi retina. Pupil adalah penerima cahaya sensitive yang mencakup sekitar dua pertiga dari permukaan internal mata. Sel-sel di retina kemudian terhubung langsung ke otak melalui saraf optik (Lihat Gambar 3).



Gambar 3. Cahaya yang Jatuh pada Retina Diteruskan ke Otak (Lechner, 2001)

3. Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami adalah pencahayaan yang bersumber dari matahari, pencahayaan ini sangat baik untuk hampir semua ruang interior. Pencahayaan matahari sangat baik untuk kantor, sekolah dan ruang kerja yang membutuhkan cahaya siang hari secara maksimal. Jumlah dari cahaya matahari yang tersedia bervariasi tergantung pada hari, tahun, cuaca, tingkat polusi dan lain sebagainya.

Cahaya alami siang hari merupakan kombinasi antara cahaya langit dan cahaya matahari yang merupakan salah satu sumber cahaya yang paling sesuai dengan respon visual manusia. Indonesia yang terletak pada

garis khatulistiwa dengan iklim tropis menerima energi dan cahaya siang hari yang sangat cukup, gratis dan tersedia sepanjang tahun. Namun kenyataannya, banyak hasil rancangan arsitektur yang masih bergantung pada penggunaan listrik pada siang hari khususnya untuk pencahayaan ruangan. Sementara dimaklumi bahwa bangunan yang gagal dalam menghemat pemakaian energi, akan menjadi mahal dalam operasionalnya. Menurut Karlen dan Benya (2007), jumlah maksimum dari cahaya matahari siang hari adalah sekitar 10.000 *foot-candle* pada musim panas. Untuk menghemat energi pada bangunan, hanya sekitar 5% dari cahaya matahari atau maksimum 500 *foot-candle* yang dibolehkan masuk. Cahaya matahari yang lebih banyak dari jumlah tersebut di atas akan menimbulkan panas yang berlebihan dalam bangunan sehingga energi bangunan akan terbuang untuk mengoperasikan pendingin bangunan (Karlen&Benya, 2007).

Sebelum melibatkan pencahayaan alami pada desain ruang ataupun bangunan, terlebih dahulu harus mengetahui kelebihan dan kelemahan yang dimiliki oleh pencahayaan alami. Beberapa kelebihan cahaya dan sinar matahari yang dikemukakan oleh Satwiko (2009) antara lain bersifat alami; tersedia dalam jumlah berlimpah, dan gratis; terbarukan (tidak ada habis-habisnya); memiliki spektrum cahaya yang lengkap; memiliki daya panas dan kimiawi yang diperlukan bagi makhluk hidup di bumi; memberikan kesan dinamis; dapat digunakan untuk pengobatan (*heliotherapy*), memiliki efek fotografi alami. Sedangkan beberapa

kelemahan cahaya matahari untuk dipergunakan sebagai sumber pencahayaan ruang adalah sebagai berikut (Satwiko, 2009):

- Pada bangunan berlantai banyak dan gemuk (berdenah rumit) sulit untuk memanfaatkan cahaya alami matahari (walau ada teknologi serat kaca yang dapat menyalurkan cahaya jauh ke dalam ruangan);
- Intensitasnya tidak mudah diatur, dapat sangat menyilaukan atau sangat redup;
- Pada malam hari tidak tersedia;
- Sering membawa serta panas masuk ke dalam bangunan;
- Dapat memudarkan warna.

Karena sinar matahari langsung membawa serta panas, maka cahaya yang dimanfaatkan adalah cahaya bola langit. Sinar matahari langsung hanya diperkenankan masuk ke dalam ruangan untuk keperluan tertentu atau bila hendak digunakan untuk mencapai efek tertentu. Untuk keseluruhan bangunan pencahayaannya tidak dapat hanya mengandalkan pencahayaan alami saja, tetapi juga pencahayaan buatan. Begitupun sebaliknya, untuk pencahayaan suatu bangunan, tidak dapat mengandalkan sepenuhnya pencahayaan buatan, mengingat bahan bakar energi yang semakin menipis.

a. Kriteria Perancangan Pencahayaan Alami

Pencahayaan alami siang hari dimaksudkan untuk memperoleh pencahayaan di dalam bangunan pada siang hari dari cahaya alami. Manfaat pencahayaan alami dapat memberikan lingkungan visual yang

menyenangkan dan nyaman dengan kualitas cahaya yang mirip kondisi alami di luar bangunan. Selain itu juga dapat mengurangi atau bahkan meniadakan pencahayaan buatan sehingga dapat mengurangi penggunaan listrik (Soegijanto,1998).

Untuk merancang pencahayaan alami perlu diketahui ketersediaan cahaya alami yang diterima di lokasi yang bersangkutan. Yang dimaksud cahaya alami siang hari di sini adalah cahaya matahari dan cahaya langit. Menurut Soegijanto (1998), kondisi langit berdasarkan jumlah dan jenis awan dapat dikelompokkan menjadi:

- Langit yang seluruhnya tertutup awan putih atau abu-abu putih atau awan tebal sebagian atau seluruhnya (*overcast sky*)
- Langit yang sebagian tertutup awan dengan berbagai jenis dan jumlah awan (*intermediate sky*)
- Langit tanpa awan (*clear sky*)

Pengelompokan tersebut dapat pula dinyatakan dalam jumlah awan yang menutupi langit yang diberi satuan octas, dinyatakan dalam angka 0 sampai 8. Langit tanpa awan adalah 0-1 octas, langit yang sebagian tertutup awan adalah 2-6 octas, dan langit yang seluruhnya tertutup awan adalah 7-8 octas (Soegijanto, 1998).

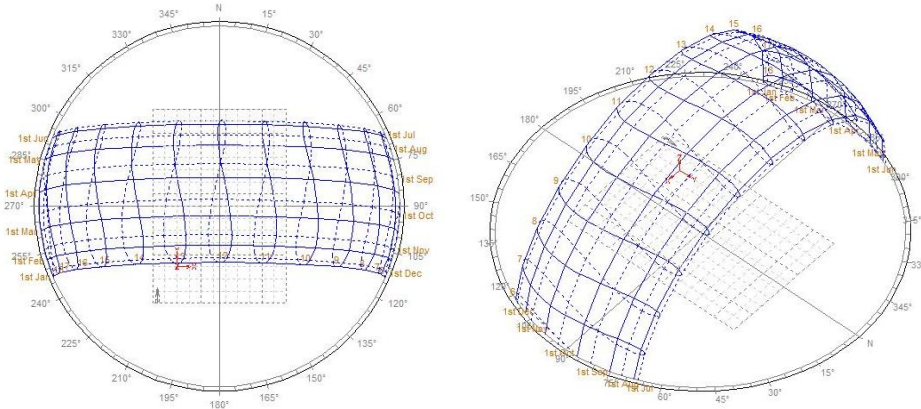
Menurut Lippsmeier (1994), pancaran cahaya matahari pada suatu tempat ditentukan oleh durasi matahari, intensitas matahari dan sudut jatuh matahari.

Durasi radiasi matahari tergantung pada musim, garis lintang geografis tempat pengamatan, dan density awan. Salah satu ciri khas daerah tropis adalah waktu remang pagi dan senja yang pendek, semakin jauh sebuah tempat dari khatulistiwa, semakin panjang waktu remangnya. Pada saat bumi beredar mengelilingi matahari, sumbu bumi tidak selalu tegak lurus terhadap garis sumbu antara inti bumi dengan inti matahari. Pergeseran garis edar matahari akan menyebabkan terjadinya perubahan panjang hari atau lama penyinaran yang diterima pada tempat-tempat di permukaan bumi. Selama satu tahun peredaran mengelilingi matahari durasi penyinaran matahari berbeda-beda dengan interval waktu setiap 3 bulanan. Menurut data yang dikemukakan Rahim (2009), durasi penyinaran matahari (*sunshine duration*) di Kota Makassar pada tiga kondisi langit yaitu untuk persentasi Langit Cerah sebesar 7.89%, persentase Langit Berawan sebesar 76.01% dan persentase langit Mendung sebesar 16.10%.

Intensitas matahari. Intensitas radiasi matahari ditentukan oleh energi radiasi absolut, hilangnya energi pada atmosfer, sudut jatuh pada bidang yang disinari dan penyebaran radiasi.

Sudut jatuh matahari. Sudut jatuh matahari ditentukan berdasarkan pada posisi relative matahari, tempat pengamatan di permukaan bumi (sudut lintang geografis pengamat), musim dan lamanya penyinaran matahari (yang ditentukan oleh garis bujur geografis). Salah satu cara menentukan sudut jatuh matahari adalah melalui diagram matahari. Diagram matahari digunakan dengan ketentuan dasar harus mengikuti

ketentuan letak objek pengamatan yang berkaitan dengan letak garis lintang dari lokasi objek pengamatan.



Gambar 4. Sun Path Kota Makassar

Tinggi matahari, yang ditunjukkan pada arah B-T, merupakan simulasi terhadap lintasan matahari dan mulai terbit sampai terbenam pada satu hari. Posisi pengamat dalam diagram ini adalah di pusat diagram. Garis jam, yang terletak vertikal terhadap garis tanggal, masing-masing garis mewakili spasi tiap jam. Garis yang berada tepat pada sumbu U-S menunjukkan waktu tengah hari (12.00) waktu setempat. Dengan bantuan diagram pengukur sudut bayangan, diagram matahari ini digunakan untuk mengetahui pembayangan suatu fasade bangunan secara horizontal dan vertikal.

b. Ketentuan Dasar Pencahayaan Alami

1) Pencahayaan Alami Siang Hari yang Baik

Pencahayaan alami siang hari dapat dikatakan baik (SNI 03-2396-2001) apabila:

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

2) Tingkat Pencahayaan Alami dalam Ruang

Menurut SNI 03-2396-2001, tingkat pencahayaan alami dalam ruangan ditentukan oleh tingkat pencahayaan langit pada bidang datar di lapangan terbuka pada waktu yang sama. Perbandingan tingkat pencahayaan alami dalam ruangan dan pencahayaan alami bidang datar di lapangan terbuka ditentukan oleh:

- Hubungan geometris antara titik ukur dan lubang cahaya
- Ukuran dan posisi lubang cahaya
- Distribusi terang langit
- Bagian langit yang dapat dilihat dari titik ukur

3) Faktor Pencahayaan Alami Siang Hari

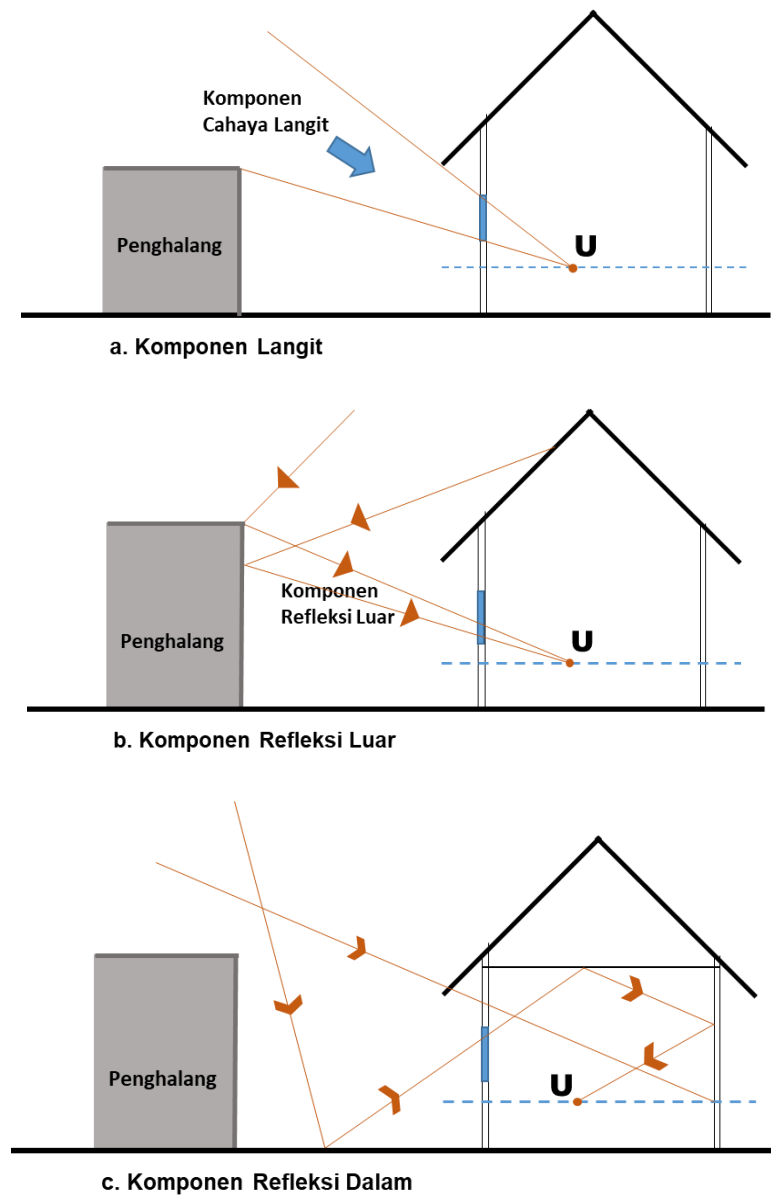
Faktor pencahayaan alami siang hari (*daylight factor*) adalah perbandingan tingkat pencahayaan pada suatu titik dari suatu bidang tertentu di dalam suatu ruangan terhadap tingkat pencahayaan bidang datar di lapangan terbuka yang merupakan ukuran kinerja lubang cahaya ruangan tersebut.

Tabel 1 Nilai *Daylight Factor* (DF) yang direkomendasikan
(Sumber: Szokolay, 1980)

Tipe Bangunan	Tipe Ruang	DF
Rumah dan Hotel	Ruang Keluarga	1% utk min.8 m ²
	Kamar Tidur	0,5% utk min.6 m ²
	Dapur	2% utk min.5 m ²
Kantor	Kantor Umum	2%
	Ruang Pengetikan, ruang mesin bisnis	4%
	Ruang Pertemuan	2%
Sekolah, Universitas	Ruang Kesenian	4%
	Laboratorium	3%
	Ruang Staff, Ruang Biasa	1%

Suatu titik pada suatu bidang tidak hanya menerima cahaya langsung dari langit tetapi juga cahaya langit yang direfleksikan oleh permukaan di luar dan di dalam ruangan. Perbandingan antara tingkat pencahayaan yang berasal dari cahaya langit baik yang langsung maupun karena refleksi, terhadap tingkat pencahayaan pada bidang datar di lapangan terbuka disebut faktor pencahayaan alami siang hari. Dengan demikian faktor langit adalah selalu lebih kecil dari faktor pencahayaan alami siang hari. Pemilihan faktor langit sebagai angka karakteristik untuk digunakan sebagai ukuran keadaan pencahayaan alami siang hari adalah untuk memudahkan perhitungan oleh karena fl merupakan komponen yang terbesar pada titik ukur.

Menurut SNI 03-2396-2001, faktor pencahayaan alami siang hari terdiri dari 3 komponen meliputi komponen langit (faktor langit-fl), Komponen refleksi luar (faktor refleksi luar - frl) dan Komponen refleksi dalam (faktor refleksi dalam-frd).



Gambar 5. Tiga Komponen Cahaya Langit yang Sampai pada Suatu Titik di Bidang Kerja (Sumber SNI: 03-2396-2001)

Komponen langit (*sky component*) yakni komponen pencahayaan langsung dari cahaya langit. Besarnya komponen langit dipengaruhi oleh ukuran lubang cahaya, penghalang yang berada di luar bangunan, penghalang yang berupa bagian dari bangunan misalnya peneduh,

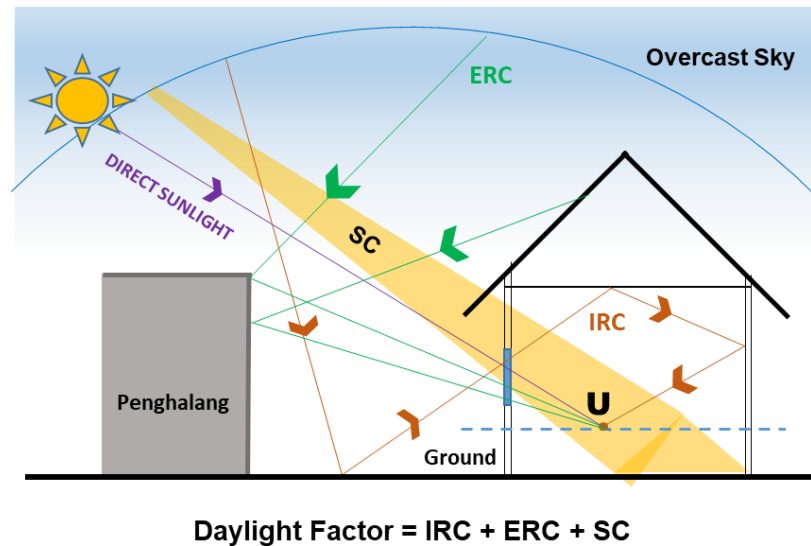
transmitansi cahaya dari kaca penutup lubang cahaya. Komponen langit tidak dipengaruhi oleh reflektansi cahaya dari permukaan di dalam dan di luar ruangan, serta posisi titik tersebut pada bidang kerja. Faktor langit (f_l) suatu titik pada suatu bidang di dalam suatu ruangan adalah angka perbandingan tingkat pencahayaan langsung dari langit di titik tersebut dengan tingkat pencahayaan oleh terang langit pada bidang datar di lapangan terbuka. Pengukuran kedua tingkat pencahayaan tersebut dilakukan dalam keadaan sebagai berikut:

- Dilakukan pada saat yang sama. Keadaan langit adalah keadaan langit perancangan dengan distribusi terang yang merata di mana-mana.
- Semua jendela atau lubang cahaya diperhitungkan seolah-olah tidak ditutup dengan kaca.

Komponen refleksi luar (*externally reflected component*) yakni komponen pencahayaan yang berasal dari refleksi benda-benda yang berada di sekitar bangunan yang bersangkutan. Besarnya komponen refleksi luar dipengaruhi oleh ukuran lubang cahaya, ukuran penghalang, reflektansi cahaya dari permukaan penghalang, posisi titik tersebut pada bidang kerja, KRL tidak dipengaruhi oleh reflektansi cahaya dari permukaan di dalam bangunan.

Komponen refleksi dalam (*internally reflected component*) yakni komponen pencahayaan yang berasal dari refleksi permukaan-permukaan dalam ruangan, dan cahaya yang masuk ke dalam ruangan akibat refleksi benda-benda di luar ruangan maupun dari cahaya langit. Cahaya yang

dipantulkan dapat berupa cahaya langsung dari langit maupun cahaya yang dipantulkan lebih dahulu oleh permukaan luar, baik berupa penghalang ataupun permukaan tanah di sekitar lubang cahaya.



Gambar 6. Ilustrasi Daylight Factor pada suatu ruang.
(Sumber SNI: 03-2396-2001)

Besarnya komponen refleksi dalam dipengaruhi oleh reflektansi cahaya dari semua permukaan dalam dari ruangan, ukuran ruangan dan ukuran lubang cahaya. Menurut Mangunwijaya (2000), cahaya siang hari terdiri dari banyak macam unsur, yaitu Unsur penerangan yang datang langsung dari langit, termasuk pantulan-pantulan awan; Unsur refleksi luar, yaitu pemantulan cahaya dari benda-benda yang berdiri di luar ruangan dan masuk melalui jendela; Unsur refleksi dalam, yaitu cahaya yang dipantulkan oleh benda-benda yang terletak rendah dan masuk melalui jendela dan lubang-lubang lain serta menerangi langit-langit atau bagian atas ruangan,

kemudian terpantul lagi dan menerangi bidang kerja; dan Unsur bahan jendela, misalnya jenis kaca, kemudian tingkat kebersihan kaca dan sebagainya.

4) Langit Perencanaan/ Perancangan

Tingkat pencahayaan yang diterima dalam suatu ruangan, sangat tergantung dari tingkat pencahayaan yang diterima di bidang horizontal di luar ruangan yang berasal dari cahaya langit yang langsung dan tidak terhalang. Tingkat pencahayaan pada bidang horizontal (luminansi horizontal) harus ditetapkan dan diasumsikan 90% atau lebih selalu terjadi pada jam kerja (biasanya jam 08.00 sampai 16.00 atau jam 09.00 sampai 17.00). Tingkat cahaya langit seperti ini akan menghasilkan nilai yang mendekati minimum dari tingkat pencahayaan di tempat terbuka. Di Indonesia, luminansi horizontal ini dikenal sebagai Langit Perencanaan/ Perancangan (Rahim, 2009).

Dalam SNI 03-2396-2001 ditetapkan beberapa ketentuan mengenai langit perancangan, antara lain:

- Ketentuan terang langit dinyatakan dalam lux
- Karena langit menunjukkan variabilitas yang besar, maka syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh keadaan langit untuk dipilih dan ditetapkan sebagai langit perancangan adalah bahwa langit yang demikian sering dijumpai, memberikan tingkat pencahayaan pada bidang datar di lapangan terbuka, dengan nilai dekat minimum, sedemikian rendahnya hingga frekuensi kegagalan untuk mencapai nilai tingkat pencahayaan

ini cukup rendah tetapi tidak boleh terlampau rendah sehingga persyaratan tekno konstruktif menjadi terlampau tinggi.

- Sebagai langit perancangan ditetapkan, langit biru tanpa awan, atau langit yang seluruhnya tertutup awan abu-abu putih.
- Langit perancangan ini memberikan tingkat pencahayaan pada titik-titik di bidang datar di lapangan terbuka sebesar 10.000 lux. Untuk perhitungan diambil ketentuan bahwa tingkat pencahayaan ini asalnya dari langit yang keadaannya dimana-mana merata terangnya (*uniform luminance distribution*).

Tabel 2. Perbandingan hasil pengukuran data Luminansi Horizontal (E_a)
(Sumber: Rahim, 2009)

Negara	Lokasi	E_a (Klx)	Referensi
Australia	Darwin	12.7	Ruck, 1985
	Brisbane	7.9	
	Broken Hill	5.9	
	Sydney	8.8	
France	Paris	5.0	Fournol, 1951
England	Kew/ Brachnell	3.0	Hunt, 1979
India	Roorkee	8.0	Narasimhan
			Saxena, 1970
Japan	Nagoya	13.5	Nakamura, 1979
South Africa	Pretoria	10.00	Richards & Rennhackkam P., 1959
	Capetown	7.5	
USA	San Fransisco	5.0	Navvab dkk. 1984
Indonesia	Bandung	10.00	Adhiwijogo, 1969 Rahim, 1993 & 2004
	Makassar	14.3	
Hong Kong	Hong Kong University	10.00	Baharuddin dkk., 2010

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Rahim (2009), nilai kumulatif luminansi horizontal sebagai Langit Perencanaan/ Perancangan di kota Makassar didapatkan sebesar 14.350 lux, lebih tinggi daripada nilai Langit Perencanaan yang ditetapkan oleh SNI. Adapun data Nilai Kumulatif Luminansi Horizontal (E_a) beberapa tempat di dunia dapat dilihat pada Tabel 2.

5) Titik Ukur

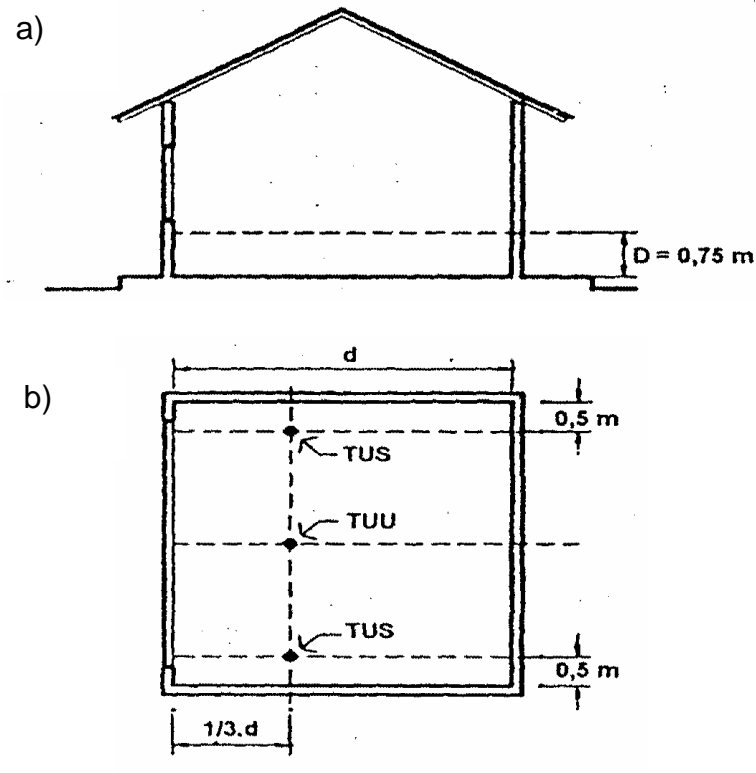
Berikut ini adalah beberapa persyaratan pengambilan titik ukur (SNI 03-2396-2001), yaitu:

- Titik ukur diambil pada suatu bidang datar yang letaknya pada tinggi 0,75 meter di atas lantai. Bidang datar tersebut disebut bidang kerja.
- Untuk menjamin tercapainya suatu keadaan pencahayaan yang cukup memuaskan, maka Faktor Langit (f_l) titik ukur tersebut harus memenuhi suatu nilai minimum tertentu yang ditetapkan menurut fungsi dan ukuran ruangnya.

Dalam perhitungan digunakan dua jenis titik ukur :

- Titik ukur utama (TUU), diambil pada tengah-tengah antar kedua dinding samping, yang berada pada jarak $1/3 d$ dari bidang lubang cahaya efektif.
- Titik ukur samping (TUS), diambil pada jarak 0,50 meter dari dinding samping, yang juga berada pada jarak $1/3 d$ dari bidang lubang cahaya efektif, dengan d adalah ukuran kedalaman ruangan, diukur dari mulai bidang lubang cahaya efektif hingga pada dinding seberangnya, atau

hingga pada "bidang" batas dalam ruangan yang hendak dihitung pencahayaannya itu (lihat Gambar 7).



Gambar 7. a) Penentuan ketinggian bidang kerja 0.75 m dari lantai.

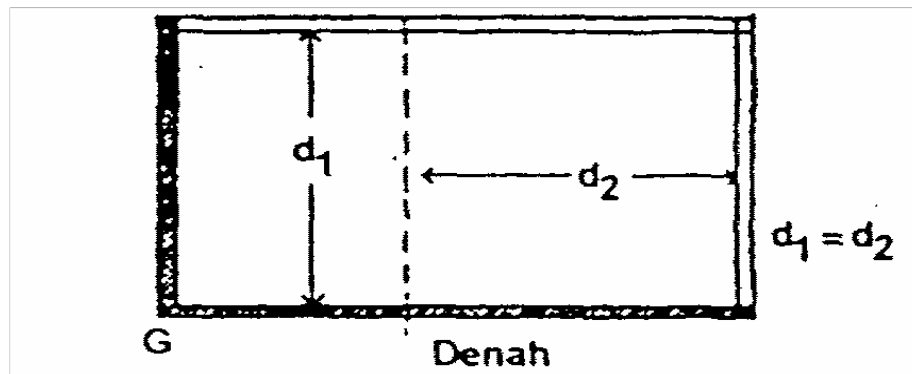
b) Metode penentuan titik ukur TUU dan TUS

(Sumber: SNI 03-2396-2001)

- Jarak "d" pada dinding tidak sejajar. Apabila kedua dinding yang berhadapan tidak sejajar, maka untuk d diambil jarak di tengah antara kedua dinding samping tadi, atau diambil jarak rata-ratanya.
- Ketentuan jarak "1/3.d" minimum. Untuk ruang dengan ukuran d sama dengan atau kurang daripada 6 meter, maka ketentuan jarak 1/3.d diganti dengan jarak minimum 2 meter.

6) Lubang Cahaya Efektif

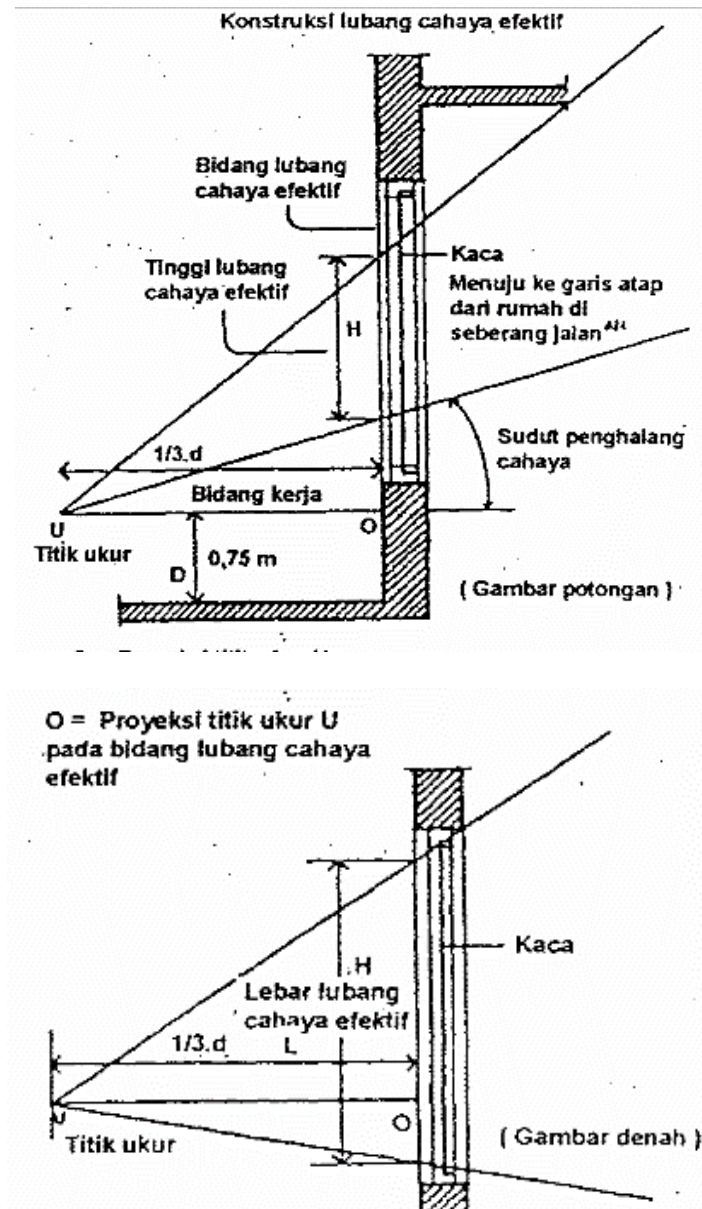
Bila suatu ruangan mendapatkan pencahayaan dari langit melalui lubang-lubang cahaya di beberapa dinding, maka masing-masing dinding ini mempunyai bidang lubang cahaya efektifnya sendiri-sendiri.



Gambar 8. Penjelasan mengenai jarak d
(Sumber: SNI 03-2396-2001)

Umumnya lubang cahaya efektif dapat berbentuk dan berukuran lain daripada lubang cahaya itu sendiri. Hal ini, antara lain dapat disebabkan oleh:

- Penghalangan cahaya oleh bangunan lain dan atau oleh pohon.
- Bagian-bagian dari bangunan itu sendiri yang karena menonjol menyempitkan pandangan ke luar, seperti balkon, konstruksi "sunbreakers" dan sebagainya.
- Pembatasan-pembatasan oleh letak bidang kerja terhadap bidang lubang cahaya.
- Bagian dari jendela yang dibuat dari bahan yang tidak tembus cahaya.



Gambar 9. Tinggi dan lebar cahaya efektif
(Sumber: SNI 03-2396-2001)

c. Persyaratan Teknis Pencahayaan Alami

1) Klasifikasi berdasarkan kualitas pencahayaan

Klasifikasi kualitas pencahayaan dapat digolongkan sebagai berikut (SNI 03-2396-2001):

- 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 dari si pelaku, seperti pekerjaan kayu, merakit suku cadang yang agak besar, dan sebagainya.
- d) Kualitas D : kerja kasar, pekerjaan dimana hanya detil-detil yang besar harus dikenal, seperti pada gudang, lorong lalu lintas orang, dan sebagainya.

2) Persyaratan faktor langit dalam ruangan

Nilai faktor langit adalah suatu titik ukur dalam ruangan harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- a) Sekurang-kurangnya memenuhi faktor-faktor langit minimum ($f_{l_{min}}$) yang tertera pada Tabel 3, dan dipilih menurut klasifikasi kualitas pencahayaan yang dikehendaki dan dirancang untuk bangunan tersebut.
- b) Nilai $f_{l_{min}}$ dalam prosen untuk ruangan-ruangan dalam Bangunan Umum untuk TUUnya adalah seperti tertera pada Tabel 3; dimana "d" adalah jarak antara bidang lubang cahaya efektif ke dinding yang diseberangnya, dinyatakan dalam meter. Faktor langit minimum untuk

TUS nilainya diambil 40% dari $f_{l_{min}}$ untuk TUU dan tidak boleh kurang dari 0,10d.

Tabel 3. Nilai faktor langit untuk bangunan umum
(Sumber: SNI 03-2396-2001)

Klasifikasi Pencahayaan	$F_{l_{min}}$ TUU
A	0,45d
B	0,35d
C	0,25d
D	0,15d

c) Ruang dengan pencahayaan langsung dari lubang cahaya di satu dinding nilai f_l ditentukan sebagai berikut:

- Dari setiap ruangan yang menerima pencahayaan langsung dari langit melalui lubang-lubang atau jendela-jendela di satu dinding saja, harus diteliti f_l dari satu TUU dan dua TUS.
- Jarak antara dua titik ukur tidak boleh lebih besar dari 3 meter. Misalnya untuk suatu ruangan yang panjangnya lebih dari 7 m, harus diperiksa (f_l) lebih dari tiga titik ukur (jumlah TUU ditambah).

d. Pengujian Pencahayaan Ruang

Metrik Kinerja Siang Hari atau *Daylight Performance Metric* (DPMs) mengukur berbagai aspek cahaya alami, seperti sebagai ketersediaan cahaya matahari (Carlucci dkk., 2015), silau (Atzeri dkk., 2016), dan ketidaknyamanan visual, serta efek siang hari non-visual (Konis, 2017). DPMs dikategorikan ke dalam dua kelompok; statis dan dinamis berdasarkan periode analisis (point-in-time vs tahunan) dan langit model (standar vs berbasis iklim) (Nabil dan Mardaljevic, 2005).

B. Kenyamanan Visual

1. Pengertian

Salah satu peran yang diberikan cahaya alami pada manusia adalah dalam hal kenyamanan. Peran ini diberikan tidak hanya di dalam bangunan, tetapi juga di luar bangunan. Kondisi visual yang terlalu gelap karena kurangnya cahaya akan menciptakan ketidaknyamanan bagi indera visual. Ketidaknyamanan ini juga akan mempengaruhi persepsi visual manusia terhadap lingkungan visualnya.

2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Visual

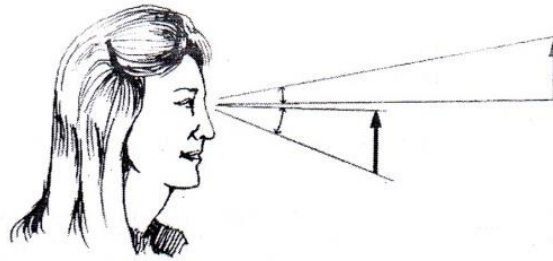
Banyak faktor yang mempengaruhi penampilan pada kegiatan visual. Beberapa faktor ini tidak saling terkait, beberapa menerangkan kondisi pencahayaan dan yang lainnya menjelaskan kondisi pengamat. Faktor dasar yang dapat mempengaruhi performa visual, dikategorikan ke dalam tiga tinjauan (Lechner, 2001).

a. Ditinjau dari kegiatan visual.

1) Ukuran/ jarak kedekatan

Hal terpenting dari karakteristik kegiatan visual adalah keterbatasan sudut pandang, fungsi untuk melihat ukuran dan jarak objek.

Keterbatasan sudut pandang akan meningkat ketika objek tersebut diperbesar atau didekatkan. Jika dimungkinkan, perancang harus memperbesar ukuran benda, karena jika ukuran bertambah besar, meski hanya sedikit, akan sebanding dengan penambahan tingkat iluminasi.



Gambar 10. Ukuran dan kedekatan menentukan sudut pandang
(Sumber: Lechner, 2001)

2) Keterbatasan Waktu

Faktor lain dari performa visual dapat keluar karena pendeknya keterbatasan waktu, tetapi seperti ukuran peningkatan iluminasi yang sangat tinggi diperlukan untuk mengimbangi pengurangan keterbatasan waktu.

3) Tingkat terang

Peningkatan performa visual dapat dilakukan dengan mengurangi terangnya latar belakang. Pengurangan tingkat terang belakang meningkatkan sensitivitas mata terhadap cahaya dan membuat objek lebih mudah terlihat. Teknik ini biasa digunakan pada museum.

4) Kontras

Perbedaan tingkat terang dengan detail dan latar belakang dinamakan kontras. Objek visual paling kritis akan menguntungkan ketika kekontrasan antara objek dengan media sekelilingnya maksimal. Adapun hubungan antara kontras dan iluminasi yang berpengaruh pada performa visual dapat dilihat pada gambar 11.

TINGKAT KONTRAS TINGGI Illuminasi 1 Footcandle Cukup	TINGKAT KONTRAS RENDAH Illuminasi Lebih Dari 100 Footcandles diperlukan
---	--

Gambar 11. Tingkat penerangan yang tinggi diperlukan untuk menggantikan/memberi keseimbangan pada kontras yang rendah.

(Sumber: Lechner, 2001)

Penting untuk diingat, faktor kontras ini merujuk pada objek detail visual (*foveal vision*), misalnya tulisan/ cetakan pada selembar kertas, dan tidak merujuk pada hubungan tingkat terang yang lebih luas misalnya kertas dengan meja.

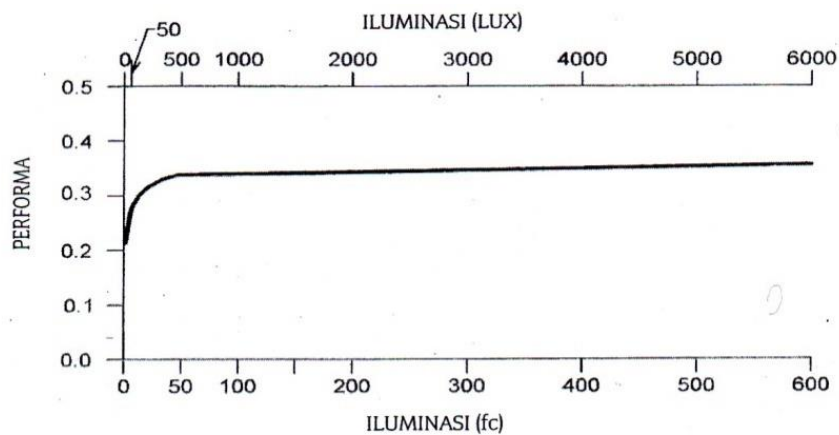
b. Ditinjau dari kondisi pencahayaan.

1) Tingkat Illuminasi

Menurut Mangunwijaya (2000) tingkat pencahayaan (iluminasi) adalah jumlah cahaya yang jatuh pada permukaan bidang kerja, dengan satuan lux. Satu lux sama dengan satu lumen/m². Satu footcandle (fc) sama dengan sepuluh lux.

Grafik pada gambar 12 mendeskripsikan hubungan antara performa visual dan iluminasi. Ketika cahaya meningkat sampai 50 *footcandle*, akan terdapat perubahan signifikan dalam performa visual. Tetapi di atas 100 *footcandle*, hanya mengakibatkan perubahan kecil pada performa visual. Alasannya adalah pupil mata akan mengecil ketika iluminasi meningkat.

Jadi peningkatan jumlah cahaya yang mencapai retina bertambah, tetapi tidak banyak. Oleh karena itu, biasanya perlu untuk menjaga area iluminasi di bawah 30 *footcandle*, dan menyediakan tingkat cahaya yang lebih tinggi jika ada keperluan spesifik yang diinginkan. Ketidakseragaman pendekatan cahaya disebut dengan “Pencahayaian Setempat”.



Gambar 12. Grafik hubungan performa visual dan tingkat iluminasi.

(Sumber: Lechner, 2001)

IESNA (*Illuminating Engineering Society of North America*) merekomendasikan tingkat iluminasi untuk berbagai aktivitas (Tabel 4). Nilai ini berdasarkan pada faktor seperti jenis aktivitas, usia pelaku, kecepatan yang diinginkan, keakuratan yang diinginkan, dan faktor pemantulan oleh permukaan ruang (ruang gelap memerlukan cahaya lebih banyak). Standar ASHRAE 90-75, merekomendasikan beberapa hal, antara lain:

- a) Pencahayaian harus konsisten sesuai dengan rekomendasi IESNA.
- b) Pencahayaian umum harus sepertiga dari pencahayaian setempat.

- c) Sirkulasi cahaya nonkritis harus sepertiga dari pencahayaan umum.

Tabel 4. Panduan untuk Tingkat Iluminasi (*IESNA*).
(Sumber: Lechner, 2001)

No	Perkiraan Jenis Kegiatan	<i>Footcandles</i>
1	Pencahayaan Umum pada Seluruh Ruang	
	a. Ruang publik dengan lingkungan yang gelap	3
	b. Orientasi sederhana untuk kunjungan yang singkat dan jarang	8
	c. Ruang kerja dimana kegiatan visual jarang dilaksanakan	15
2	Iluminasi pada kegiatan	
	a. Performa dari kegiatan visual berukuran besar atau tingkat kontras tinggi	30
	b. Performa dari kegiatan visual berukuran kecil atau tingkat kontras sedang	75
	c. Performa dari kegiatan visual berukuran sangat kecil atau tingkat kontras rendah	150

2) Rasio tingkat terang/keseragaman

Rasio tingkat atau distribusi iluminansi dan luminasi adalah ukuran dari variasi pencahayaan dari titik ke titik di suatu bidang atau permukaan. Untuk visibilitas yang baik, beberapa tingkat keseragaman diperlukan pada beberapa bidang. Tingkat visibilitas rendah dan ketidaknyamanan visual dapat terjadi jika mata dipaksa untuk beradaptasi terlalu cepat untuk berbagai tingkat cahaya. Rasio iluminansi dan luminasi seperti nilai maksimum terhadap nilai rata-rata ataupun nilai rata-rata terhadap nilai minimum digunakan untuk mengukur keseragaman pencahayaan. Rasio ini biasanya diukur pada bidang pekerjaan horizontal pada ketinggian 0,75

atau 0,8 m di atas lantai untuk pekerjaan yang berhubungan dengan kertas atau membaca di atas meja.

3) Silau (*glare*)

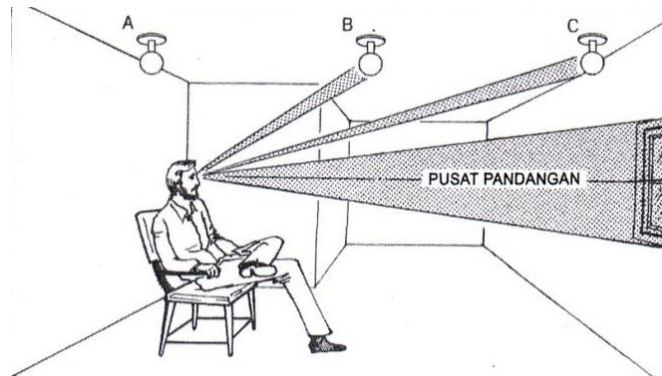
Silau merupakan gangguan visual yang mempengaruhi performa visual. Silau (*glare*) adalah kondisi penglihatan dimana terdapat ketidaknyamanan atau pengurangan dalam kemampuan melihat suatu objek, karena luminasi objek terlalu besar, distribusi luminasi yang tidak merata atau terjadinya kontras yang berlebihan.

Ada dua macam silau, yaitu silau langsung dan silau pantulan.

a) Silau langsung.

Silau langsung disebabkan oleh sumber cahaya terang yang mengganggu, tidak nyaman, atau hilang pada performa visual. Disebut ketidaknyamanan silau (*discomfort glare*) ketika menghasilkan ketidaknyamanan fisik, dan disebut ketidakmampuan silau (*disability glare*) ketika mengurangi performa visual dan penglihatan. *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.



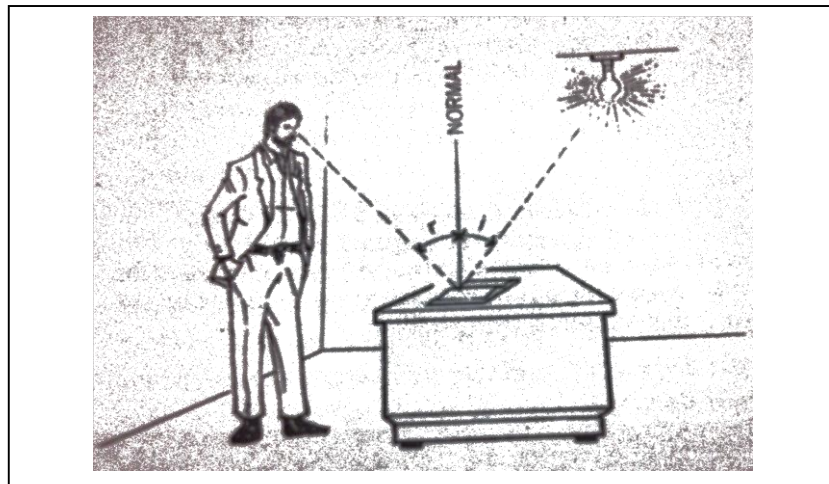
Gambar 13. Sumber Silau Langsung. Sumber: Lechner (2001)

Ketidaknyamanan penglihatan (*discomfort glare*) terjadi jika beberapa elemen interior mempunyai luminansi yang jauh di atas luminansi elemen interior lainnya. 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.

b) Silau tidak langsung dan lapisan pemantul

Silau tidak langsung adalah silau yang disebabkan oleh pantulan cahaya dari benda dengan permukaan mengkilat/licin atau dengan kata lain merupakan lapisan pemantul. Silau tidak langsung ini sebaiknya dihindari dengan menggunakan permukaan rata ataupun dengan penyelesaian matte serta dengan mengatur sistem pencahayaannya. Lapisan pemantul

berada dalam kondisi maksimum ketika sudut datang yang dibuat oleh sumber cahaya sama dengan sudut pantul yang ditentukan oleh lokasi mata.



Gambar 14. Silau Langsung (Lechner, 2001)

3. Persepsi Visual

Istilah persepsi sering disebut juga disebut juga dengan pandangan, gambaran, atau anggapan, sebab dalam persepsi terdapat tanggapan seseorang mengenai satu hal atau objek. Persepsi mempunyai banyak pengertian, diantaranya adalah :

1. Menurut Bimo Walgito (1989), pengertian persepsi adalah suatu proses yang didahului oleh penginderaan yaitu merupakan proses yang berwujud diterimanya stimulus oleh individu melalui alat indera atau juga disebut proses sensoris.
2. Menurut Slameto (2010), persepsi adalah proses yang menyangkut masuknya pesan atau informasi ke dalam otak manusia, melalui persepsi manusia terus menerus mengadakan hubungan dengan

lingkungannya. Hubungan ini dilakukan lewat inderanya, yaitu indera pengelihat, pendengar, peraba, perasa, dan pencium.

3. Menurut Robbins (2003) yang mendeskripsikan bahwa persepsi merupakan kesan yang diperoleh oleh individu melalui panca indera kemudian di analisa (diorganisir), diinterpretasi dan kemudian dievaluasi, sehingga individu tersebut memperoleh makna.
4. Menurut Purwodarminto (1990), persepsi adalah tanggapan langsung dari suatu serapan atau proses seseorang mengetahui beberapa hal melalui pengindraan.
5. Dalam kamus besar psikologi, persepsi diartikan sebagai suatu proses pengamatan seseorang terhadap lingkungan dengan menggunakan indra-indra yang dimiliki sehingga ia menjadi sadar akan segala sesuatu yang ada dilingkungannya.

Persepsi mempunyai sifat subjektif, karena bergantung pada kemampuan dan keadaan dari masing-masing individu, sehingga akan ditafsirkan berbeda oleh individu yang satu dengan yang lain. Dengan demikian persepsi merupakan proses perlakuan individu yaitu pemberian tanggapan, arti, gambaran, atau penginterpretasian terhadap apa yang dilihat, didengar, atau dirasakan oleh inderanya dalam bentuk sikap, pendapat, dan tingkah laku atau disebut sebagai perilaku individu.

Persepsi dalam Kenyamanan Visual juga memiliki arti yang serupa dengan defenisi beberapa ahli dalam bidang psikologi tersebut. Untuk

menciptakan system perancangan pencahayaan yang berhasil, perancang harus mengerti persepsi manusia.

Beberapa aspek yang penting dalam perancangan menurut Lechner (2001) antara lain:

- a. Relativitas Tingkat Terang
- b. Kekonstanan Tingkat Terang
- c. Kekonstanan Warna
- d. Fenomena Persepsi Warna Lain
- e. Efek Figur/ Latar Belakang
- f. Teori Gestalt
- g. Fenomena Persepsi Lain

Pencahayaan yang sesuai dengan kebutuhan dan aktivitas yang dilakukan, baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan, akan memberikan kenyamanan visual pada manusia. Kenyamanan visual yang tercipta itu tentu berdampak pada persepsi visual terhadap ruangan tersebut, serta berbagai objek visual yang berada di dalamnya. Persepsi visual atau respon manusia terhadap kondisi visual yang diakses oleh indera visualnya, sangat dipengaruhi oleh cahaya karena cahayalah yang memungkinkan kita dapat mengakses informasi visual.

Kualitas pencahayaan suatu bangunan sangat ditentukan oleh perasaan yang muncul pada diri seseorang yang mengaksesnya secara visual. Menurut Steffy (2002), persepsi terhadap pencahayaan merupakan

hasil interpretasi otak terhadap reaksi fisiologis terhadap setting pencahayaan tersebut.

4. Metode Pengujian Kenyamanan Visual

Untuk menguji kenyamanan visual pada ruang, sebagian besar dipergunakan metode/ metrik untuk menilai pencahayaan ruang baik dari kuantitas cahaya, distribusi cahaya, kualitas cahaya dan kesilauan yang terjadi pada ruang. Beberapa metrik yang dapat dipakai untuk menilai kenyamanan visual telah dirangkum oleh Carlucci dkk. (2015) yang disajikan pada Tabel 5.

Sebagian besar indeks dikhususkan untuk menilai atau memprediksi silau (17/34; 50%), jumlah cahaya (9/34; 26%); kualitas cahaya (7/34; 21%) dan terakhir keseragaman cahaya (1/34; 3%).

Tabel 5. Ringkasan Fitur Indeks Pencahayaan & Kenyamanan
(Sumber: Carlucci dkk., 2015)

Source	Visual comfort metric	Scope of the index	Light source	Space discretization	Time discretization	Acceptability criterion	Presence of a comfort threshold
<i>Not defined</i>	Illuminance (E_p)	Amount of light	Natural artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
<i>Not defined</i>	Luminance (L)	Glare	Natural artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
<i>Not defined</i>	Luminance ratio	Glare	Natural artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
Petherbridge and Horpkinson	British Glare Index (BGI)	Glare	Artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
Walsh	Daylight Factor (DF)	Amount of light	Natural	Local Zonal	Short-term	One-tailed	Yes
Guth	Visual Comfort Probability (VCP)	Glare	Artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
Judd	Flattery Index (R_f)	light quality	Artificial	Not applicable	Short-term	Not applicable	Yes
Thornton	Color Discrimination Index	light quality	Artificial	Not applicable	Short-term	Not applicable	Yes
Thornton	Color Preference Index	light quality	Artificial	Not applicable	Short-term	Not applicable	Yes
DIN 5035	Illuminance Uniformity (UO)	Light distribution	Natural artificial	Zonal	Short-term	Not applicable	Yes
Einhorn	CIE Glare Index (CGI)	Glare	Natural artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
Chauvel, Collins	Discomfort Glare Index (DGI)	Glare	Artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
Xu	Color Rendering Capacity	light quality	Artificial	Not applicable	Short-term	not applicable	No
Pointer	Pointer's color rendering index	Glare	Artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
CIE 17.4	Color Rendering Index (CRI or R_a)	light quality	Artificial	Not applicable	Short-term	Not applicable	Yes
Meyer, Francioli	J-Index	Glare	Artificial	Local	Short-term	not applicable	No
CIE 17	Unified Glare Rating (UGR)	Glare	Artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
Tokura, Iwata	Predicted Glare Sensation Vote (PGSV)	Glare	Artificial	Local	Short-term	One-tailed	No
Hashimoto, Yano	Feeling of Contrast Index	light quality	Artificial	Not applicable	Short-term	Not applicable	Yes
Reinhart and Walkenhorst	Daylight Autonomy (DA)	Amount of light	Natural	Local	long-term	One-tailed	No

Tabel 5. Lanjutan

Source	Visual comfort metric	Scope of the index	Light source	Space discretization	Time discretization	Acceptability criterion	Presence of a comfort threshold
CIE 146/147	Unified Glare Rating for small light sources	Glare	Artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
CIE 146/147	Great-room Glare Rating (GGR)	Glare	Artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
Nazzal	New Discomfort Glare Index (DGIN)	Glare	Artificial	Local	Short-term	One-tailed	No
Wienold and Christoffersen	Discomfort Glare Probability (DGP)	Glare	Natural artificial	Local	Short-term	One-tailed	Yes
Nabil and Mardaljevic	Useful Daylight Illuminance (UDI)	Amount of light	Artificial	Local	long-term	two-tailed	No
Rogers and Goldman	Continous Daylight Autonomy (DAcon)	Amount of light	Artificial	Local	long-term	One-tailed	No
Wienold, Jiang	Wienold's Simplified Discomfort Glare Probability (DGPs)	Glare	Natural artificial	Local	Short-term	One-tailed	No
Hviid, Nielsen	Hviid's simplification of the Discomfort Glare Probability (DGPs)	Glare	Natural artificial	Local	Short-term	One-tailed	No
Wienold	Enhanced Simplified Discomfort Glare Probability (eDGPs)	Glare	Natural artificial	Local	Short-term	One-tailed	No
Davis and Ohno	Color Quality Scale	ligh quality	Artificial	Not applicable	Short-term	Not applicable	Yes
Sicurella, Evola	Frequency of Visual Comfort (FVC)	Amount of light	Natural	Zonal	long-term	two-tailed	Yes
Sicurella, Evola	Intensity of Visual Discomfort (IVD)	Amount of light	Natural	Zonal	long-term	two-tailed	Yes
IES	Spatial Daylight Autonomy (sDA)	Amount of light	Natural	Zonal	long-term	One-tailed	No

C. Analisis Pencahayaan Alami dengan Metode Simulasi Digital

1. Metode Kalkulasi Simulasi Digital

Ragam metode kalkulasi dikembangkan untuk menghasilkan renderasi yang realistis dengan perkiraan jumlah cahaya yang lebih akurat. Iversen (2013), mengelompokkan teknik renderasi digital sesuai perkembangannya yaitu *Split Flux Formula*, *Ray Tracing*, *Radiosity* dan *Photon mapping*.

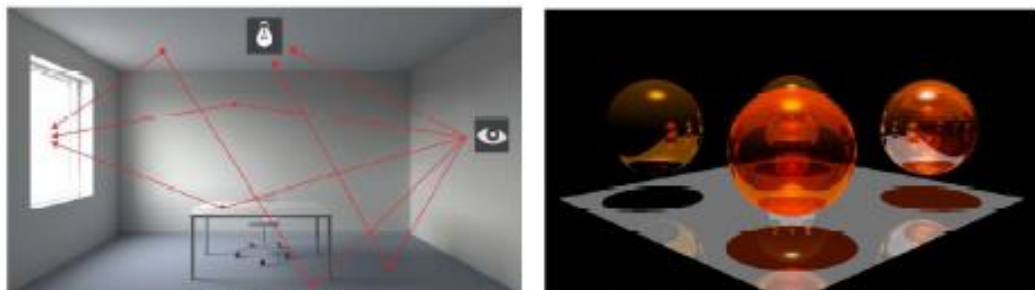
a. *Split Flux Formula*.

Metode renderasi *Split Flux Formula* merupakan kalkulasi algoritma sederhana berdasarkan metode perhitungan manual BRE dengan memperhitungkan tiga faktor komponen pencahayaan alami, yaitu pencahayaan langsung (komponen langit) dan factor refleksi (dalam dan luar ruangan). Masing-masing komponen dihitung terpisah kemudian dijumlahkan untuk mengetahui total iluminasi pada titik ukur. Faktor refleksi dalam ditentukan oleh refleksi elemen pelingkup ruang, area bukaan, dan faktor koreksi dari penghalang luar. Hasil perhitungan seringkali melebihi atau kurang dari kenyataan. Iversen (2013) merekomendasikan metode ini hanya untuk ruang dengan bukaan sejajar dengan dinding. Contoh perangkat lunak yang menggunakan metode ini adalah *Leso-DIAL* dan *Ecotect*.

b. *Ray tracing*

Ray tracing merupakan kalkulasi distribusi jumlah cahaya baik dari sumber-sumber cahaya (*forward ray tracing*) atau dari pengamat (*backward ray tracing*). *Backward ray tracing* merupakan metode yang lebih umum dan

cepat karena hanya berfokus menghitung jumlah cahaya yang sampai ke pengamat. Namun demikian metode tersebut kurang tepat digunakan apabila sumber cahayanya tersembunyi, misalnya teknik pemasangan sumber cahaya dengan sumur cahaya atau pipa cahaya. Algoritma *ray tracing* mampu menghitung factor refleksi, transmisi dan refraksi dari setiap permukaan yang lebih kompleks. Teknik ini efektif untuk material permukaan specular dan sumber cahaya berupa titik. Karena teknik yang hanya mengkalkulasikan jumlah cahaya pada beberapa titik yang ingin dihitung, perubahan titik pandang (view point) akan memerlukan kalkulasi simulasi ulang. Contoh perangkat lunak yang menggunakan metode raytracing diantaranya adalah *Radiance*, *SuperLite*, *Genelux*, *Adeline*, *Passport-Light*, dan *Daysim*.

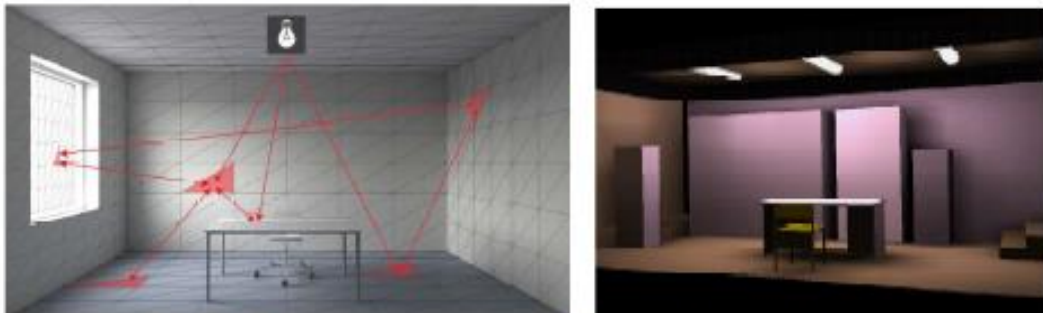


Gambar 15. Ilustrasi Perhitungan dan Hasil Renderasi dengan Metode Raytracing (Sumber: Iversen, 2013)

c. *Radiosity*

Menurut Mandala (2016), perhitungan dengan render *Radiosity* memungkinkan untuk menampilkan renderasi visual yang realistic dengan memunculkan bayangan dan pembiasan cahaya. Metode ini pertama kali

diperkenalkan pada pertengahan tahun 1980-an. Metodenya membagi setiap permukaan bidang ruang menjadi segmen-segmen yang lebih kecil. Metode ini mampu menghitung kontribusi cahaya yang dipantulkan ke elemen-elemen di seluruh ruang dari berbagai sumber cahaya (alami dan buatan). Performanya sangat baik untuk aplikasi material tidak tembus cahaya dengan sumber cahaya menyebar dan juga efisien untuk mensimulasikan distribusi cahaya dalam ruang. Namun demikian, *radiosity* punya keterbatasan dalam simulasi pencahayaan alami dan hanya dapat digunakan untuk evaluasi ruang dengan bentuk yang sederhana. Program *Lumen Micro* dan *Lightscape* merupakan contoh-contoh aplikasi perangkat lunak yang menggunakan renderasi *radiosity*.



Gambar 16. Ilustrasi Perhitungan dan Hasil Renderasi dengan Metode Radiosity (Sumber Iversen, 2013)

d. Kombinasi *Ray tracing* dan *Radiosity*

Metode renderasi *radiosity* dan *raytracing* memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing yang saling melengkapi, oleh karenanya beberapa program menggabungkan teknik renderasi tersebut seperti *Dialux*, *Relux*, *AGI32*, *Lumen Designer*, *AutodeskREVIT*, dan *3D Studio*

Max. Program Lightscape, meskipun menggunakan teknik *radiosity*, juga dapat ditambahkan langkah ray tracing untuk menampilkan efek specular pada objek.

e. *Photon Mapping*

Renderasi *photon mapping* menggunakan teknik *bi-directional raytracing*. Menggunakan metode forward ray tracing dengan *photon mapping*. Pertama, mendistribusikan cahaya dalam ruang kemudian menghitung backward ray tracing dari titik pengamat untuk perhitungan akhir. Cara ini mampu mengoptimalkan simulasi sehingga dapat digunakan untuk perhitungan scenario cahaya yang lebih kompleks, seperti pipa cahaya, dan lebih cepat dari cara backward ray tracing terdahulu. Program *Velux Daylight Visualiser* menggunakan teknik ini dalam renderasinya.



Gambar 17. Ilustrasi Perhitungan dan Hasil Renderasi dengan Metode Photon Mapping (Iversen, 2013)

2. Langkah-langkah Perhitungan Simulasi Digital

a. Membangun model dan input data

Membangun model merupakan salah satu kendala yang umum dialami oleh pengguna simulasi digital. Selain kompleksitas data bangunan yang harus diinput ke dalam perhitungan, setiap program memiliki cara berbeda untuk membangun model sehingga perlu waktu untuk mempelajarinya. Beberapa program juga memiliki kompatibiliti dengan 3D visual lainnya (dapat mengimpor model dengan file .3ds/ .skp/ .cad, dll). Pembangunan model yang presisi dan detail input sangat penting untuk menentukan validitas perhitungan akhir. Pembangunan model umumnya meliputi geometri ruangan dan elemen pelingkupnya, data material permukaan ruang, bukaan dan objek, ada tidaknya pengaruh pencahayaan buatan (untuk program yang menghitung kontribusi pencahayaan buatan), data penghalang bangunan, kondisi tapak beserta lingkungan sekitar, dan sebagainya. Pada awal tahapan simulasi, pengguna juga perlu menentukan kondisi langit dengan memasukkan parameter tipe cahaya langit, posisi bangunan (geografis), dan waktu simulasi cahaya (tahun, tanggal, jam). Ini berpengaruh untuk mengetahui kalkulasi besaran sumber pencahayaan alami.

b. Kalkulasi cahaya dan output data

Setiap perangkat lunak memiliki metode kalkulasi cahaya bawaannya masing-masing. Beberapa program juga menyediakan pilihan metode kalkulasi. Keluaran/ output data yang dihasilkan meliputi beragam variasi

tergantung keperluan. Keluaran data yang umum digunakan untuk perhitungan factor pencahayaan alami (DF) atau iluminasi (lux) mencakup Tabel atau berupa kontur cahaya (berbentuk garis ataupun warna).

D. Kebaharuan Penelitian (Novelty)

Dari tinjauan pustaka, maka dapat terlihat *state-of-the-art* dari penelitian serupa mengenai pencahayaan alami dan kenyamanan visual. Penulis mengkaji tentang penilaian kenyamanan pencahayaan alami berbasis persepsi siswa dengan memperhitungkan 3 faktor kenyamanan visual yaitu persepsi kuantitas cahaya, persepsi distribusi cahaya dan persepsi kesilauan.

Kenyamanan visual dan karakteristik siang hari dari ruang adalah aspek penting dari kinerja tinggi desain, sedangkan prediksi preferensi penghuni dengan Metrik dan ambang yang divalidasi akan membantu desainer membuat lebih banyak informasi pilihan (Wymelenberg dkk., 2010).

Para peneliti telah mengembangkan banyak Metrik Kinerja Siang Hari atau *Daylight Performance Metric* (DPMs) yang mengukur berbagai aspek cahaya alami, seperti sebagai ketersediaan cahaya matahari (Carlucci dkk., 2015), silau (Atzeri dkk., 2016), dan ketidaknyamanan visual, serta efek siang hari non-visual (Konis, 2017). DPMs dikategorikan ke dalam dua kelompok; statis dan dinamis berdasarkan periode analisis (point-in-time vs

tahunan) dan langit model (standar vs berbasis iklim) (Nabil dan Mardaljevic, 2005).

Metrik dinamis seperti *Daylight Autonomy* (DA), *Useful Daylight Illuminance* (UDI), *Spatial Daylight Autonomy* (sDA), dan *Annual Sunlight Exposure* (ASE) memprediksi jumlah absolut (mis. Pencahayaan) per tahun. Metrik ini tergantung pada lokasi dan orientasi bangunan, selain geometri ruang dan sifat optik material (Mardaljevic dkk., 2009). Namun hasil beberapa penelitian menunjukkan bahwa mematuhi standar dan peraturan siang hari tidak selalu mengarah ke lingkungan yang cocok dengan preferensi visual pengguna (Korsavi dkk., 2016; Mangkuto dkk., 2016; Nezamdoost dan Van Den Wymelenberg, 2017b; Reinhart dan Weissman, 2012). Karena itu, protokol dan standar mengakui pentingnya evaluasi subjektif evaluasi selain DPMs, karena tindakan fotometrik saja dilakukan tidak sepenuhnya menangkap komponen subjektif dari kualitas pencahayaan (Allan dkk., 2019).

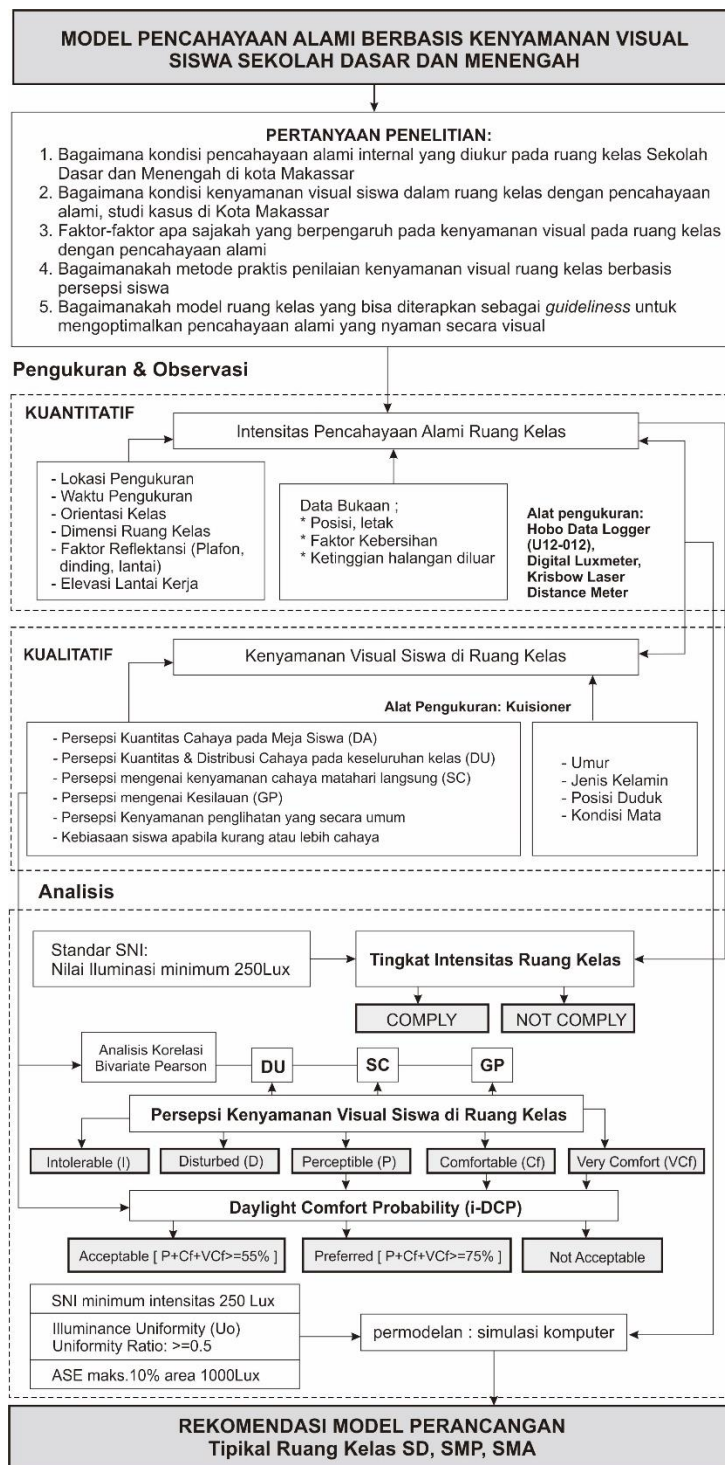
Selama sepuluh tahun terakhir, banyak penelitian telah dicurahkan untuk kenyamanan visual penghuni melalui survei berbasis kuesioner. Beberapa penelitian ini telah meneliti faktor-faktor yang mempengaruhi persepsi visual seperti harapan dan perilaku (Korsavi dkk., 2016), jenis kegiatan (Suk dkk., 2016), orientasi tempat duduk dan kedekatan jendela (Kong dan Jakubiec, 2019), suasana hati, kewaspadaan dan kesejahteraan (Borisuit dkk., 2015), kualitas tampilan luar (Hirning dkk., 2014; Korsavi dkk., 2016; Zomorodian dan Tahsildoost, 2018), desain interior (Kong dan

Jakubiec, 2019; Korsavi dkk., 2016), dll. Penelitian lain berfokus pada pengidentifikasian konsistensi DPMs dengan persepsi pengguna di lokasi yang berbeda, (mis., Amerika Utara Nezamdoost dan Van Den Wymelenberg, 2017b; Zomorodian dan Tahsildoost, 2018), Asia (Bian dan Luo, 2017; Mangkuto dkk., 2017, 2016) dan tipe bangunan mis., Kantor (Jakubiec dkk., 2018; Suk dkk., 2017; Wienold dkk., 2019), bangunan pendidikan (Kong dan Jakubiec, 2019; Reinhart dkk., 2014), bangunan tempat tinggal (Jakubiec dkk., 2019). Perbedaan antara subyektif dan pengukuran objektif dilaporkan di sebagian besar dari mereka, yang mengkritik validitas metrik ini dalam ruang dan iklim yang berbeda (Jakubiec dkk., 2018; Konis, 2014; Korsavi dkk., 2016; Mangkuto dkk., 2017; Nezamdoost dan Van Den Wymelenberg, 2017b; Suk dkk., 2017). Untuk mengatasi kesenjangan antara prediksi kinerja siang hari berbasis simulasi dan kinerja ruang aktual, beberapa upaya telah dilakukan untuk mengembangkan penilaian yang andal dengan mengusulkan rentang baru yang dapat diterima untuk metrik saat ini (Bian dan Ma, 2018; Jakubiec dan Reinhart, 2016; Mangkuto dkk., 2017; Nezamdoost dan Van Den Wymelenberg, 2017a, 2017b; Zomorodian dan Tahsildoost, 2018) atau menyarankan metode baru untuk penilaian kualitas cahaya (Hirning dkk., 2017; Konstantzos dan Tzempelikos, 2017; Suk dkk., 2016; Darmasetiawan). Dari sekian banyak metrik yang dipaparkan, penulis berusaha untuk menemukan gap dengan menyusun suatu metode penilaian berbasis persepsi pengguna. Persepsi pengguna menjadi

variabel untuk mengukur kuantitas cahaya, distribusi cahaya, kesilauan secara spasial pada ruang. Mengadaptasi konsep yang diterapkan pada metrik Spatial Daylight Autonomy (sDA) dan Annual Sunlight Exposure (ASE).

Selain metode penilaian kenyamanan visual, penelitian juga ini akan menghasilkan model ruang kelas dengan penerangan alami yang nyaman visual. Model pencahayaan alami disimulasi dengan memperhatikan tiga faktor kenyamanan, yaitu kuantitas cahaya yang memenuhi standar SNI, penyebaran cahaya yang cenderung merata, dan mereduksi potensi terjadinya silau dengan memperkecil kemungkinan iluminasi yang diatas atau sama dengan 1000 Lux, mengadaptasi konsep yang dipakai oleh metrik ASE (*Annual Sunlight Exposure*).

E. Skema Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 18. Kerangka Pikir Penelitian