

TC D
50/2004

EFEKTIVITAS PEMANTUL CAHAYA ALAMI

Studi Kasus: Ruang Kelas Sekolah Dasar di Depok

EFFECTIVENESS OF LIGHT SHELF
Case Study: Class Room of Elementary School in Depok

TESIS

Oleh:

ABRAHAM SENO B.

NPM. 0606003890



T

24539

BIDANG KEKHUSUSAN TEKNOLOGI BANGUNAN
PROGRAM MAGISTER DEPARTEMEN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK
2008

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS INDONESIA

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis saya dengan judul:

**Efektivitas Pemantul Cahaya Alami
Studi Kasus: Ruang Kelas Sekolah Dasar di Depok**

**Effectiveness of Light Shelf
Case Study: Class Room of Elementary School in Depok**

Yang disusun untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Arsitektur Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tesis yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 18 Juli 2008



Abraham Seno B.
NPM. 0606003890

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis dengan judul:

Efektivitas Pemantul Cahaya Alami
Studi Kasus: Ruang Kelas Sekolah Dasar di Depok

Effectiveness of Light Shelf
Case Study: Class Room of Elementary School in Depok

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Magister Teknik pada kekhususan Teknologi Bangunan Studi Teknik Arsitektur, Program Pasca Sarjana Universitas Indonesia, dan disetujui:

Depok, 18 Juli 2008

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II



DR. Ir. Abimanyu T. Alamsyah, MS.
NIP. 130536626

Ir. Siti Handjarinto, M.Sc.
NIP. 131408291



KATA PENGANTAR

Puji syukur, penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkah dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis Riset ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi pada Program Magister Teknologi Bangunan, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Indonesia pada semester genap tahun ajaran 2007-2008.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya Tesis ini, terutama kepada:

1. DR. Ir. Abimanyu T. Alamsjah, MS., selaku Dosen Pembimbing I
2. Ir. Siti Handjarinto, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II
3. DR. Ir. Finarya S. Legoh M.Sc. dan Ir. Azrar Hadi, Ph.D. selaku penguji
4. Kemas Ridwan Kurniawan, ST., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
5. Prof. Ir. Triatno Y. Hardjoko, M.Sc., Ph.D., selaku Koordinator Tesis Magister Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, semester genap 2007-2008.
6. Bapak/Ibu Kepala Sekolah Dasar: SDN Mekarjaya 27, SD Kwitang 8 PSKD, SDN Depok 3, SD Pemuda Bangsa, dan SDN Beji 4
7. Seluruh Staf Pengajar, Administrasi, dan Staff Perpustakaan Fakultas Teknik Universitas Indonesia
8. Seluruh rekan dari Program Magister Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, khususnya rekan Angkatan 2006
9. Kedua Orang Tua, Adik, serta Keluarga Besar Penulis
10. Seluruh pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap penelitian mengenai "Efektivitas Pemantul Cahaya Alami" dengan studi kasus Ruang Kelas Sekolah Dasar di Depok ini bisa bermanfaat bagi ilmu pengetahuan, dalam hal ini bagi perancangan pencahayaan alami tidak langsung (bidang pemantul) khususnya pengembangan fasilitas pendidikan, dan kepada dunia Arsitektur yang menggunakan cahaya alami sebagai sumber pencahayaan.

Namun, penulis sangat menyadari bahwa hasil penelitian ini masih jauh dari sempurna, dan masih perlu untuk dikembangkan lebih lanjut. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik, saran, dan masukan yang sangat berharga dari bapak dan ibu sekalian. Terima kasih.

Depok, Juli 2008

Penulis



ABSTRAK

EFEKTIVITAS PEMANTUL CAHAYA ALAMI STUDI KASUS: RUANG KELAS SEKOLAH DASAR DI DEPOK

Abraham Seno B.
NPM: 0606003890

Indonesia adalah Negeri yang tersedia cahaya alami dengan melimpah. Dengan keadaan seperti itu, cahaya alami sudah seharusnya dapat dimanfaatkan oleh bangunan secara optimal. Namun, pemasukkan cahaya secara langsung ke dalam ruangan dapat mengakibatkan peningkatan panas dan kesilauan/*glare*. Untuk itu, usaha memasukkan cahaya alami pada bangunan, khususnya di Indonesia perlu menggunakan strategi pencahayaan alami tidak langsung, yaitu bidang pemantul. Penggunaan bidang pemantul juga mampu meningkatkan intensitas dan distribusi (penyebaran) cahaya dalam ruang.

Cahaya alami menurut beberapa penelitian, mampu meningkatkan kemampuan bekerja seseorang, khususnya adalah kemampuan belajar. Sementara kemampuan melihat berkembang pada usia Sekolah Dasar. Namun keadaan ruang kelas beberapa Sekolah Dasar di Kota Depok menunjukkan kurangnya kenyamanan visual. Untuk itu mengatasi hal tersebut, bidang pemantul disimulasikan pada ruang kelas Sekolah Dasar guna mengetahui efektivitasnya terhadap pencapaian kenyamanan visual. Sekolah Dasar yang menjadi studi kasus adalah: SDN Mekarjaya 27, SD Kwitang 8 PSKD, SDN Depok 3, SD Pemuda Bangsa, dan SDN Beji 4.

Simulasi dilakukan pada model ruang kelas eksisting dengan menggunakan simulasi komputer. Ada dua tahap simulasi, tahap perbandingan hasil simulasi model eksisting berbidang pemantul dengan model kondisi eksisting serta tahap usulan pengembangan model ruang kelas dan bidang pemantulnya. Keduanya menggunakan perangkat lunak komputer *AutoCAD 2007* untuk menentukan komposisi dan bentuk (sudut) bidang pemantul (*Ray-Tracing*) dan *Relux Professional 2007* untuk pemodelan ruang kelas, serta mensimulasikan intensitas cahaya model-model ruangan tersebut.

Pada akhirnya, setelah diketahui seberapa efektifnya bidang pemantul terhadap peningkatan intensitas dan distribusi cahaya, diusulkan pengembangan ruang kelas dalam hal penggunaan bidang pemantul guna tercapai kenyamanan visual bagi ruang kelas Sekolah Dasar di Depok

Kata Kunci : Cahaya Alami, Pencahayaan Alami Tidak Langsung, Bidang Pemantul, Simulasi *Ray-Tracing*, Simulasi Intensitas Cahaya, Kenyamanan Visual



ABSTRACT

EFFECTIVENESS OF LIGHT SHELF CASE STUDY: CLASS ROOM OF ELEMENTARY SCHOOL IN DEPOK

Abraham Seno B.
NPM: 0606003890

Indonesia is a country that has tremendous amount of natural light. With this condition, natural light should be exploited on a building in an optimal condition. Penetrate daylight directly into room can improve heat and create glare. Therefore, penetrate natural light into building needs indirect daylight strategy that is light reflector or known as light shelf especially in Indonesia as tropical country. The use of light shelf has improved light luminance and light distribution.

According to several researches, natural light has improved human work ability, in this case is learning ability. In a child, the ability to see has improved since the age of elementary school. However, lighting condition in several Elementary School in Depok indicated there has been lack of visual comfort. To overcome this condition, light shelf was simulated at class room models to find the effectiveness of visual comfort achievement. On this research, there were several elementary schools used as case studies.

Computer simulation was conducted for existing class room models. There were two steps of simulation; firstly, it compared existing class room models with light shelves, with existing class room model with no light shelf. Secondly, it was suggested class room models with light shelf development. Both of them, used software AutoCAD 2007 for determining angles and composition of light shelf (Ray-Tracing) and software Relux Professional 2007 for class room re-modelling and also for light luminance simulation.

After knowing the effectiveness of light shelf to light luminance and distribution improvement, it was suggested that the development of class room in light shelf application for visual comfort achievement in elementary school class room in Depok.

Keywords : Natural Light (Daylight), Indirect Daylight, Reflector, Light Shelf Ray-Tracing Simulation, Light Luminance Simulation, Visual Comfort



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	3
1.3. Pertanyaan Penelitian.....	4
1.4. Penelitian Sebelumnya.....	5
1.5. Batasan Penelitian.....	6
1.6. Tujuan dan Manfaat.....	6
1.6.1. Tujuan.....	6
1.6.2. Manfaat.....	6
1.7. Urutan Penulisan.....	7
1.8. Resume Pendahuluan.....	7
1.9. Alur Pikir.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Cahaya.....	9
2.2. Kenyamanan Visual.....	9
2.2.1. Fisiologi Cahaya.....	10
2.2.2. Kemampuan Penglihatan.....	11
2.3. Standar Pencahayaan Ruang Kelas.....	12
2.3.1. Intensitas Cahaya.....	12
2.3.2. Distribusi Cahaya.....	13
2.3.3. Pengurangan Efek Negatif.....	13
2.4. Terang Alami.....	14
2.4.1. Sudut Matahari.....	15
2.4.2. Kondisi Terang Langit di Indonesia.....	16
2.5. Sistem Pencahayaan Alami.....	17
2.5.1. <i>Collecting</i> (Pengumpulan).....	17
2.5.1.1. Permukaan Horizontal.....	18
2.5.1.2. Sistem Pemasukkan Cahaya.....	19
2.5.1.3. Sistem Pembayangan.....	20
2.5.1.4. Aspek-aspek dalam Pengumpulan Sinar.....	22
2.5.2. <i>Transporting</i> (Pemasukkan).....	24
2.5.2.1. Sistem Pencahayaan Langsung.....	24
2.5.2.2. Sistem Pencahayaan Tidak Langsung.....	24
2.5.2.3. Perubah Arah Sinar Matahari.....	24
2.5.3. <i>Distributing</i> (Penyebaran).....	25
2.5.3.1. Proporsi Ruang.....	25
2.5.3.2. Reflektansi Ruangan.....	26
2.5.3.3. Faktor Perawatan Permukaan Ruangan (<i>Room Surface Maintenance Factor</i>).....	27



2.6.	Perubah Arah Cahaya Matahari.....	27
2.6.1.	Strategi Perubah Arah Cahaya Matahari.....	28
2.6.2.	Bidang Pemantul (Light Shelves)	30
	Pemantulan Cahaya.....	30
2.7.	Desain Light shelves.....	33
2.7.1.	Interior Surface.....	34
2.7.2.	Material.....	34
2.8.	Kriteria Perhitungan Pencahayaan Alami.....	35
2.8.1.	Faktor Langit.....	36
2.8.2.	Titik Ukur.....	36
2.9.	Kesimpulan Kajian Pustaka.....	29
2.10.	Kerangka Pemikiran dan Hipotesis	42
BAB III METODE PENELITIAN.....		44
3.1.	Proses Penelitian.....	44
3.2.	Penentuan Studi Kasus.....	45
3.3.	Faktor yang Mempengaruhi Penelitian.....	48
3.4.	Variabel Penelitian.....	49
3.5.	Langkah-langkah Penelitian.....	50
3.6.	Alat Penelitian.....	53
3.7.	Simulasi Komputer.....	54
	3.7.1. Tahap I	
	3.7.1.1. Simulasi <i>Ray-tracing</i> dengan Program AutoCAD 2007.....	54
	3.7.1.2. Simulasi Intensitas Cahaya dengan Program Relux Professional 2007	55
	3.7.2. Tahap II	
	3.7.2.1. Simulasi <i>Ray-tracing</i> dengan Program AutoCAD 2007.....	57
	3.7.2.2. Simulasi Intensitas Cahaya dengan Program Relux Professional 2007	57
BAB IV DATA DAN ANALISA.....		58
4.1.	Sekolah Studi Kasus	
	1. SDN Mekarjaya 27.....	58
	2. SD Kwitang 8 PSKD.....	59
	3. SDN Depok 3.....	59
	4. SD Pemuda Bangsa.....	60
	5. SDN Beji 4.....	61
4.2.	Analisis <i>Ray-Tracing</i> Tahap I	
	Pemilihan Komposisi dan Bentuk Bidang Pemantul.....	61
	4.2.1. Pemantul koridor ketinggian 100 cm dari permukaan lantai.....	62
	4.2.2. Pemantul koridor ketinggian 150 cm dari permukaan lantai.....	63
	4.2.3. Pemantul koridor ketinggian 210 cm dari permukaan lantai dengan bukaan pada plafond koridor.....	65
	4.2.4. Hasil Analisis <i>Ray-Tracing</i> Tahap I.....	66
4.3.	Hasil Simulasi.....	68
	4.3.1. SDN Mekarjaya 27.....	69
	4.3.2. SD Kwitang 8 PSKD.....	73
	4.3.3. SDN Depok 3.....	77
	4.3.4. SD Pemuda Bangsa.....	81
	4.3.5. SDN Beji 4.....	85
4.4.	Kesimpulan Analisis Hasil Simulasi Tahap I.....	89



BAB V USULAN PENGEMBANGAN	90
5.1. Kelemahan pada Kondisi Eksisting dengan Pemantul.....	90
5.2. Prinsip Pencahayaan Alami Tidak Langsung pada Kondisi Eksisting.....	96
5.3. Usulan Pengembangan Kondisi Eksisting.....	99
5.4. Analisis Bentuk dan Komposisi Pemantul Tahap II (Hasil Simulasi <i>Ray-Tracing</i>).....	101
5.4.1. Hasil Analisis <i>Ray-Tracing</i> Tahap II.....	105
5.4.2. Pengembangan pada Hasil Analisis <i>Ray-Tracing</i> Tahap II.....	109
5.5. Simulasi Intensitas Cahaya.....	111
5.6. Hasil Simulasi Intensitas Cahaya Tahap II.....	112
5.6.1. Pemantul Tipe A.....	113
5.6.2. Pemantul Tipe B.....	118
5.7. Kesimpulan Simulasi Tahap Dua.....	123
5.8. Aspek Arsitektural.....	124
5.9. Gambar Usulan Desain.....	126
5.10. Resume Penelitian.....	128
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	130
6.1. Kesimpulan.....	130
6.2. Saran.....	130
DAFTAR PUSTAKA	132
LAMPIRAN	135
Lampiran A: Contoh Hasil Simulasi Intensitas Cahaya.....	135
Lampiran B: Detail Studi Kasus	
B.1. SDN Mekarjaya 27.....	137
B.2. SD Kwitang 8 PSKD.....	139
B.3. SDN Depok 3.....	141
B.4. SD Pemuda Bangsa.....	143
B.5. SDN Beji 4.....	146



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	: Alur Pikir.....	8
Gambar 2.1	: Empat kebutuhan minimum untuk persepsi dan Identifikasi.....	10
Gambar 2.2	: Sudut-sudut dalam Lintasan Matahari.....	15
Gambar 2.3	: Diagram Lintasan Matahari untuk Wilayah Jakarta dan sekitarnya.....	15
Gambar 2.4	: Pengumpulan Sinar Matahari oleh Fasade.....	18
Gambar 2.5	: Permukaan Horizontal di Luar dan Dalam Bangunan.....	18
Gambar 2.6	: Distribusi Pencahayaan pada Sistem Pencahayaan Samping.....	19
Gambar 2.7	: (kiri dan kanan) Pengaruh Ketinggian Plafond pada Distribusi Cahaya.....	20
Gambar 2.8	: Beberapa Aplikasi Sistem Pembayang Horizontal Device.....	21
Gambar 2.9	: Beberapa Aplikasi Sistem Pembayang Vertical Device.....	21
Gambar 2.10	: Egg-crate, Kombinasi Antara Horizontal dan Vertical Device.....	22
Gambar 2.11	: Proses Cahaya Sampai ke Dalam Bangunan.....	22
Gambar 2.12	: Orientasi Bangunan untuk Penangkapan Cahaya.....	23
Gambar 2.13	: Perbandingan Proporsi Ruang.....	25
Gambar 2.14	: Perbandingan Tinggi Ruang dengan Distribusi Cahaya.....	26
Gambar 2.15	: Pengaruh Reflektansi Terhadap Tingkat Pencahayaan Ruangan.....	26
Gambar 2.16	: Pemantulan cahaya: Sudut datang(i) sama dengan sudut pantul(r).....	31
Gambar 2.17	: Hukum Pemantulan Selalu Berlaku pada Semua Sudut.....	31
Gambar 2.18	: Pemantulan biasa pada cermin membentuk bayangan benda.....	31
Gambar 2.19	: Pemantulan baur pada permukaan bidang yang tidak rata.....	32
Gambar 2.20	: Light Shelves pada Eksterior Bangunan.....	33
Gambar 2.21	: Light Shelves pada Interior Bangunan.....	34
Gambar 2.22	: Tinggi dan Lebar Cahaya Efektif.....	36
Gambar 2.23	: Penjelasan mengenai jarak d pada titik ukur.....	37
Gambar 2.24	: Kerangka Teori.....	41
Gambar 2.34	: Kerangka Pemikiran.....	42
Gambar 3.1	: Kerangka Penelitian.....	44
Gambar 3.2	: Lokasi SD Studi Kasus.....	47
Gambar 3.3	: Posisi VSA.....	48
Gambar 4.1	: Lokasi SD Mekarjaya 27.....	58
Gambar 4.2	: Lokasi SD Kwitang 8 PSKD.....	59
Gambar 4.3	: Lokasi SDN Depok 3.....	60
Gambar 4.4	: Lokasi SD Pemuda Bangsa.....	60
Gambar 4.5	: Lokasi SD Beji 4.....	61



Gambar 4.6	: Ray-Tracing Pemantul Sudut 0° $t=100\text{cm}$	62
Gambar 4.7	: Ray-Tracing Pemantul Sudut 45° $t=100\text{cm}$	62
Gambar 4.8	: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$ $t=100\text{cm}$	62
Gambar 4.9	: Ray-Tracing Pemantul Sudut 30° $t=100\text{cm}$	62
Gambar 4.10	: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$ $t=100\text{cm}$	63
Gambar 4.11	: Ray-Tracing Pemantul Sudut 0° $t=150\text{cm}$	63
Gambar 4.12	: Ray-Tracing Pemantul Sudut 45° $t=150\text{cm}$	63
Gambar 4.13	: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$ $t=150\text{cm}$	64
Gambar 4.14	: Ray-Tracing Pemantul Sudut 30° $t=150\text{cm}$	64
Gambar 4.15	: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$ $t=150\text{cm}$	64
Gambar 4.16	: Ray-Tracing Pemantul Sudut 0° $t=210\text{cm}$	65
Gambar 4.17	: Ray-Tracing Pemantul Sudut 45° $t=210\text{cm}$	65
Gambar 4.18	: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$ $t=210\text{cm}$	65
Gambar 4.19	: Ray-Tracing Pemantul Sudut 30° $t=210\text{cm}$	66
Gambar 4.20	: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$ $t=210\text{cm}$	66
Gambar 4.21	: Pemantul Terpilih Sisi Utara.....	67
Gambar 4.22	: Pemantul Terpilih Sisi Selatan.....	68
Gambar 4.23	: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SDN Mekarjaya 27.....	71
Gambar 4.24	: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SD Kwitang 8 PSKD.....	75
Gambar 4.25	: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SDN Depok 3.....	79
Gambar 4.26	: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SD Pemuda Bangsa.....	83
Gambar 4.27	: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SDN Beji 4.....	87
Gambar 5.1	: Ketinggian Plafond Koridor Setelah Pengaplikasian Bidang Pemantul.....	90
Gambar 5.2	: Ketinggian Plafond Koridor pada SD Kwitang 8 PSKD.....	91
Gambar 5.3	: Jendela pada Salah Satu Sisi Ruang Kelas SD Pemuda Bangsa.....	93
Gambar 5.4	: Jenis Jendela Atas pada Kelima Studi Kasus (dari kiri atas searah jarum jam: SD Pemuda Bangsa, SDN Depok 3, SDN Mekarjaya 27, SDN Beji 4, SD Kwitang 8 PSKD).....	93
Gambar 5.5	: Pengaruh Lebar Teritisan Terhadap Penetrasi Cahaya Alami.....	93
Gambar 5.6	: Teritisan SD Kwitang 8 PSKD.....	94
Gambar 5.7	: Pohon Diantara Ruang Kelas Utara dan Selatan SD Kwitang 8 PSKD.....	95
Gambar 5.8	: Usulan Perubahan Plafon Koridor.....	99
Gambar 5.9	: Sinar Datang (VSA) yang Digunakan Pada Simulasi Ray-tracing Tahap II.....	102
Gambar 5.10	: Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 0°	103
Gambar 5.11	: Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 30°	103
Gambar 5.12	: Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 45°	103
Gambar 5.13	: Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 0°	103
Gambar 5.14	: Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 30°	104
Gambar 5.15	: Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 45°	104



Gambar 5.16	: Pemantul eksterior sudut $30^{\circ} + 45^{\circ}$ dan pemantul interior 0°	104
Gambar 5.17	: Pemantul eksterior sudut $30^{\circ} + 45^{\circ}$ dan pemantul interior 30°	104
Gambar 5.18	: Pemantul eksterior sudut $30^{\circ} + 45^{\circ}$ dan pemantul interior 45°	105
Gambar 5.19	: Pemantul eksterior anidolic dan pemantul interior 0°	105
Gambar 5.20	: Pemantul eksterior anidolic dan pemantul interior anidolic.....	105
Gambar 5.21	: Pemantul Sisi Utara Alternatif 1.....	106
Gambar 5.22	: Pemantul Sisi Utara Alternatif 2.....	106
Gambar 5.23	: Pemantul Sisi Selatan Alternatif 1.....	107
Gambar 5.24	: Pemantul Sisi Selatan Alternatif 2.....	107
Gambar 5.25	: Pemantul A (Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 0° pada sisi utara dan Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 30° pada sisi selatan).....	108
Gambar 5.26	: Pemantul eksterior anidolic dan pemantul interior anidolic pada sisi utara dan selatan.....	108
Gambar 5.27	: Penggunaan Teritisan Tembus Cahaya.....	110
Gambar 5.28	: Penempatan Lubang Buka-an Atap pada Sisi Dinding Luar.....	110
Gambar 5.29	: Penambahan Teritisan Tembus Cahaya dan Buka-an Atap Terhadap Ruang-an dengan Pemantul A.....	110
Gambar 5.30	: Penambahan Teritisan Tembus Cahaya dan Buka-an Atap Terhadap Ruang-an dengan Pemantul B.....	111
Gambar 5.31	: Rata-rata Intensitas Cahaya Akibat Pemantul A Ruang Kelas Utara.....	115
Gambar 5.32	: Rata-rata Intensitas Cahaya Akibat Pemantul A Ruang Kelas Selatan.....	115
Gambar 5.33	: Rata-rata Intensitas Cahaya Akibat Pemantul B Ruang Kelas Utara.....	120
Gambar 5.34	: Rata-rata Intensitas Cahaya Akibat Pemantul B Ruang Kelas Selatan.....	120
Gambar 5.35	: Perletakkan Drainase di Bidang Pemantul	124
Gambar 5.36	: Komposisi Memanjang dari Bidang Pemantul.....	125
Gambar 5.37	: Potongan Ruang Kelas Utara.....	126
Gambar 5.38	: Potongan Ruang Kelas Selatan	126
Gambar 5.39	: Detail Bidang Pemantul Sisi Utara.....	127
Gambar 5.40	: Detail Bidang Pemantul Sisi Selatan.....	127
Gambar L.A.1	: Room Description, Floor Plan.....	135
Gambar L.A.2	: Room Description, View From Left.....	135
Gambar L.A.3	: Calculation Result, Reference Plan: Intensitas Bidang Kerja.....	136
Gambar L.A.4	: 3D Illumination View from Left.....	136
Gambar L.B.1	: SD Mekarjaya 27 Utara (kiri atas-kanan atas: koridor utara, posisi bangunan utara terhadap lapangan, bukaan sisi selatan ruang kelas utara) SD Mekarjaya 27 Selatan (kiri bawah-kanan bawah: koridor selatan, teritisan selatan, ruang kelas selatan).....	137



Gambar L.B.2	: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara dan Ruang Kelas Selatan SDN Mekarjaya 27.....	138
Gambar L.B.3	: SD Kwitang 8 PSKD Utara (Kiri Atas-Kanan Atas: Ruang Kelas Utara, Koridor Utara, dan Sisi Tanpa Koridor Utara), dan SD Kwitang 8 PSKD Selatan (Kiri Bawah-Kanan Bawah: Koridor Selatan, Ruang Kelas Selatan, dan Sisi Tanpa Koridor Selatan).....	139
Gambar L.B.4	: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara dan Ruang Kelas Selatan SD Kwitang 8 PSKD.....	140
Gambar L.B.5	: SDN Depok 3 Utara (Kiri Atas-Kanan Atas: Ruang Kelas Utara, Koridor Utara, dan Sisi Tanpa Koridor Utara), dan SDN Depok 3 Selatan (Kiri Bawah-Kanan Bawah: Koridor Selatan, Ruang Kelas Selatan, dan Sisi Tanpa Koridor Selatan).....	141
Gambar L.B.6	: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara dan Ruang Kelas Selatan SDN Depok 3.....	142
Gambar L.B.7	: SD Pemuda Bangsa Utara(Kiri Atas-Kanan Atas: Ruang Kelas Utara, Koridor Utara), dan SD Pemuda Bangsa Selatan (Kiri Bawah-Kanan Bawah: Koridor Selatan, Ruang Kelas Selatan).....	143
Gambar L.B.8	: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara SD Pemuda Bangsa.....	144
Gambar L.B.9	: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Selatan SD Pemuda Bangsa.....	145
Gambar L.B.10	: SDN Beji 4 Utara(Kiri Atas-Kanan Atas:Tampak Depan Bangunan Utara, Ruang Kelas Utara, Koridor Utara), dan SD Pemuda Bangsa Selatan (Kiri Bawah-Kanan Bawah: Bangunan Selatan, Sisi Tanpa Koridor Bangunan Selatan, Koridor Selatan, Ruang Kelas Selatan).....	146
Gambar L.B.11	: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara dan Selatan SDN Beji 4.....	147



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Penggolongan Tingkat Kebersihan Ruang.....	27
Tabel 2.2	: Tingkat Reflektansi Material Relux Professional 2007.....	35
Tabel 3.1	: Jumlah Penduduk Depok Total & Usia 7-12 tahun, tahun 2000-2007.....	45
Tabel 3.2	: Penentuan Wilayah Per Kecamatan.....	47
Tabel 3.3	: Tingkat Reflektansi Material Relux Professional 2007.....	56
Tabel 4.1	: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SDN Mekarjaya 27.....	69
Tabel 4.2	: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SDN Mekarjaya 27.....	70
Tabel 4.3	: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SD Kwitang 8 PSKD.....	73
Tabel 4.4	: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SD Kwitang 8 PSKD.....	74
Tabel 4.5	: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SDN Depok 3.....	77
Tabel 4.6	: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SDN Depok 3.....	78
Tabel 4.7	: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SD Pemuda Bangsa.....	81
Tabel 4.8	: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SD Pemuda Bangsa.....	82
Tabel 4.9	: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SDN Beji 4.....	85
Tabel 4.10	: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SDN Beji 4.....	86
Tabel 4.11	: Matriks Penentuan Pemantul.....	88
Tabel 5.1	: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur Pemantul A Ruang Kelas Utara.....	113
Tabel 5.2	: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya Pemantul A Ruang Kelas Utara.....	113
Tabel 5.3	: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur Pemantul A Ruang Kelas Selatan.....	114
Tabel 5.4	: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya Pemantul A Ruang Kelas Selatan.....	114
Tabel 5.5	: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur Pemantul B Ruang Kelas Utara.....	118
Tabel 5.6	: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya Pemantul B Ruang Kelas Utara.....	118
Tabel 5.7	: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur Pemantul B Ruang Kelas Selatan.....	119
Tabel 5.8	: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya Pemantul B Ruang Kelas Selatan.....	119



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Cahaya adalah prasyarat untuk penglihatan manusia. Dalam kegelapan total kita tidak melihat apa-apa. Namun sebaliknya dalam terang yang sangat berlebihan kita juga tidak tahan akan kesilauannya. Hasil karya manusia yang berwujud artefak hampir tidak berarti bila tanpa kehadiran cahaya. Karya-karya arsitektur yang demikian erat dengan desain interior yang berwujud dua dimensi dan tiga dimensi berupa¹: ruang beserta elemen-elemen sebagai pembatas ataupun pengisi ruang dengan berbagai macam bentuk yang ber-volume baru bisa diamati, disadari dan dirasakan kehadirannya secara visual, oleh indera penglihatan hanya semata-mata karena adanya cahaya.

Sumber pencahayaan yang paling mudah didapat dan tidak mengkonsumsi energi apapun adalah matahari. Perancangan ruangan sebaiknya dikombinasikan dengan usaha memasukkan cahaya matahari ke dalam ruangan. Ironisnya, kekurangan pencahayaan pada sebuah ruangan di siang hari sering kali diantisipasi dengan penggunaan lampu, yang akhirnya akan mengkonsumsi energi listrik. Karena itu, dibutuhkan usaha memasukkan pencahayaan alami ke dalam bangunan dibutuhkan untuk meminimalisasi penggunaan energi listrik tersebut.

Namun, pencahayaan alami bukan hanya membuat penghematan energi pada bangunan namun juga membuat kemampuan bekerja seseorang lebih meningkat. Menurut Heschong (1999)² dari Heschong Mahone Group, ada keterkaitan antara peningkatan penggunaan pencahayaan alami dan peningkatan kemampuan manusia. Dalam hal ini lebih dibicarakan mengenai kemampuan belajar. Ini didasarkan didasarkan atas penelitian Nicklas dan Bailey (1992) dari Innovative Design melakukan penelitian mengenai "*Study into the Effects of Light on Children of Elementary School Age: A Case of Daylight Robbery*". Dalam penelitiannya, Michael dan rekan membandingkan antara peserta didik pada kelas dengan pencahayaan penuh dengan

¹ S.P. Honggowidjaja dalam *Pengaruh Signifikan Tata Cahaya pada Desain Interior* Jurusan Desain Interior, Fakultas Seni dan Desain Universitas Kristen Petra Surabaya (<http://puslit.petra.ac.id/journals/interior/>)

² Hasil studi Heschong Mahone Group tahun 1999 di California, Colorado, dan Washington States, Amerika Serikat, menggunakan metodologi Rigorous Statistical – multivariate linear regression analysis. Studi menganalisa mengenai pelajar yang belajar di ruangan yang menggunakan daylight secara utuh dibandingkan dengan pelajar di ruangan lain yang menggunakan sedikit daylight.



peserta didik pada kelas pencahayaan normal. Konklusi yang didapat oleh Nicklas dan Bailey adalah berhubungan dengan meningkatnya kesehatan raga dan jiwa siswa³ yang berada pada ruangan dengan pencahayaan alami.

Pemasukkan cahaya matahari ke dalam bangunan juga harus mempertimbangkan radiasi dari matahari tersebut. Matahari selain memberikan cahaya (sinar), juga memberikan panas (radiasi). Indonesia yang terletak di belahan bumi di sekitar khatulistiwa mendapatkan sinar matahari yang cukup melimpah disertai energi panas yang besar pula. Memasukkan cahaya matahari secara langsung ke dalam kelas dapat menimbulkan masalah termal yang pada akhirnya dapat menurunkan konsentrasi siswa dalam belajar. Selain itu, memasukkan cahaya secara langsung dapat menimbulkan efek negative seperti *glare*. Efek inilah yang dapat menurunkan tingkat kenyamanan visual dalam ruangan.

Untuk itulah dibutuhkan suatu strategi untuk memasukkan cahaya matahari secara tidak langsung. Tidak langsung berarti cahaya matahari terpantulkan terlebih dahulu sebelum masuk ke dalam ruang kelas. Dalam penelitian ini hanya akan dibahas mengenai salah satu elemen arsitektur yaitu bidang pemantul. Bidang pemantul adalah sebuah panel berbahan reflektif⁴ yang diletakkan dengan komposisi dan bentuk tertentu yang diatur menyesuaikan dengan pergerakan matahari untuk memantulkan sinar matahari tersebut ke dalam ruangan.

Pemenuhan kenyamanan visual menyangkut kepada pengguna ruang tersebut. Dalam ruangan kelas, manusia menerima informasi dalam bentuk bermacam-macam. Dalam penerimaan informasi tersebut, manusia erat hubungannya dengan cahaya. Cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya dipantulkan oleh benda yang dipandang kemudian diterima oleh organ penglihatan yaitu mata. Sebagian besar informasi yang diterima manusia diterima melalui mata. Yang dilakukan mata yang paling sederhana tak lain hanya mengetahui apakah lingkungan sekitarnya adalah terang atau gelap. Mata secara lebih kompleks dipergunakan untuk memberikan pengertian visual. Pada usia 18-35 tahun kemampuan melihat mengalami puncaknya.

³ Konklusi yang dihasilkan dari penelitian Nicklas dan Bailey adalah: Peserta didik pada kelas dengan pencahayaan penuh lebih sehat dan masuk sekolah 3,2 sampai 3,8 hari lebih banyak per tahun, Pencahayaan penuh membuat siswa berperasaan lebih positif, serta dengan tambahan vitamin D pada peserta didik kelas pencahayaan penuh, mereka terkena kerusakan gigi 9 kali lebih rendah dan mengalami pertumbuhan badan dengan rata-rata 2,1 cm lebih tinggi (penghitungan selama 2 tahun) dibandingkan peserta didik kelas pencahayaan biasa.

⁴ Y.B. Mangunwijaya dalam Fisika Bangunan. 1980. Bahan reflektif disini adalah material yang mampu memantulkan cahaya, bisa hanya berupa cat, ataupun keseluruhan material.



Setelah rentan usia tersebut, kemampuan melihat mengalami penurunan bertahap sesuai penggunaan dan asupan gizinya.

Merujuk kepada kemampuan melihat⁵, kemampuan ini mulai berkembang banyak pada rentan *school-age*. Pada usia ini mata mulai banyak menerima informasi dari luar keluarga, Dalam hal ini lingkungan sosialnya. Pada rentan ini, dibutuhkan pencahayaan yang seoptimal mungkin. Sehingga mata dapat menerima informasi tanpa harus melakukan usaha akomodasi⁶ yang berat. Sekolah dasar menjadi pilihan untuk penelitian ini dikarenakan masuk ke dalam rentan *school-age* tersebut.

Usaha Pemerintah dalam mengembangkan pendidikan dalam hal ini adalah pengembangan fasilitas sekolah, tidak lepas dari perkembangan masing-masing wilayah. Hal ini akibat adanya kebijakan yang desentralisasi. Jakarta, sebagai Ibukota Negara, sudah berkembang dengan sangat pesat⁷. Namun bagaimana dengan daerah penunjang Jakarta? Salah satu Kota penunjang Jakarta yang menjadikan pendidikan sebagai salah satu aset adalah Kota Depok. Kota Depok terkenal sebagai salah satu Kota Pendidikan. Jumlah fasilitas pendidikan di Depok terbanyak diantara wilayah penunjang DKI lainnya (Bekasi dan Tangerang)⁸. Pengembangan fasilitas di daerah penunjang perlu dilakukan agar tidak selalu Ibukota sebagai pusat pengembangan.

Peningkatan jumlah penduduk pembangunan sekolah untuk menyeimbangkannya juga harus disertakan pembaharuan desain ruangan kelas, dalam hal ini adalah aspek pemasukan pencahayaan alaminya, sehingga ke depan kualitas peserta didik dapat meningkat seiring dengan peningkatan kuantitas penduduk.

1.2. PERMASALAHAN

Pencahayaan alami punya pengaruh yang besar terhadap kemampuan belajar siswa, kondisi ini bertolak belakang dengan kondisi sekolah di Depok. Sebagian besar ruang kelas di Depok kurang sesuai standar. Hanya 75-200 lux pada meja belajar,

⁵ Infantvision, 2004. Kemampuan melihat seseorang dapat dibedakan berdasarkan usianya: a. *basic* (0-3 tahun); b. *school-age* (3-12 tahun); c. *adolescents* (12-18 tahun); d. *adults* (18-35 tahun). (Pembagian kemampuan melihat berdasarkan usia. URL: <http://www.infantvision.org/vision.htm>)

⁶ Jakarta Eye Center, tim peneliti. *Kelainan Refraksi*. Maret. 2003. Akomodasi mata adalah Efek makin cembungnya lensa mata, yaitu dimana cahaya akan lebih terfokus didepan retina.. URL: <http://www.jakarta-eye-center.com>

⁷ BPS Pusat, 2004. Tiap tahun, penduduk DKI bertambah 18,21%.

⁸ BPS Jawa Barat, 2004 dan Dinas PU Banten, 2004. Jumlah fasilitas pendidikan di Kota Depok 332 fasilitas, Bekasi 283 fasilitas, dan Tangerang 146 fasilitas



serta hanya 150-200 lux pada daerah papan tulis⁹. Selain itu, kondisi intensitasnya juga kurang merata¹⁰.

Sekolah-sekolah dasar di Kota Depok menggunakan koridor tipe *single loaded corridor* (*single loaded corridor* adalah koridor yang letaknya dan melayani hanya pada salah satu sisi bangunan). Dengan adanya koridor ini, bukaan pada sisi koridor tersebut makin jauh dari luar ruangan. Ditambah pula dengan teritisan untuk koridor tersebut. Hal ini mengakibatkan kegelapan pada salah satu sisi. Ini kontradiktif pada anjuran adanya teritisan untuk penebuan bangunan dan koridor beratap yang menghubungkan antar ruangan bangunan-bangunan di daerah tropis. Belum lagi jika sisi yang berlawanan dengan sisi yang terdapat koridor dihalangi oleh teritisan, serta bangunan dan vegetasi yang lebih tinggi dari bangunan ruang kelas.

Begitu pula dengan perancangan bukaan dari bangunan yang ada dimana tidak disesuaikan dengan kebutuhan pencahayaan. Pada beberapa sekolah, bukaan yang ada tidak memadai. Terkadang satu sisi ruang (sisi kanan/kiri jika siswa menghadap ke papan tulis) hanya diberi lubang angin, sehingga pencahayaannya hanya mengandalkan sisi yang berlawanan (dari arah koridor).

Berbeda-bedanya orientasi dari bangunan ruang kelas yang ada juga memberikan kualitas pencahayaan yang berbeda pula. Pada pengamatan, satu titik yang kelebihan pencahayaan akibat kesalahan orientasi bangunan mengakibatkan sinar matahari dapat masuk secara langsung.

1.3. PERTANYAAN PENELITIAN

Berdasarkan identifikasi masalah diatas maka dapat dikemukakan beberapa pertanyaan yang akan diteliti lebih lanjut dalam penelitian ini

Efektifkah¹¹ penambahan instrument bidang pemantul cahaya alami serta perubahan sudut dari bidang pemantul tersebut jika dibandingkan dengan beberapa

⁹ Menurut beberapa penelitian didapat standar kenyamanan visual untuk ruang belajar adalah 250-300 Lux pada meja belajar dan 450-500 lux pada papan tulis. Penelitian tersebut antara lain:

- Tata Cara Perancangan Penerangan Alami Siang Hari untuk Rumah & Gedung dan Penerangan Buatan di dalam Gedung yang diterbitkan oleh Yayasan Lembaga Masalah Bangunan (LPMB).
- Jurnal Ilmiah Nasional Efisiensi dan Konservasi Energi, Universitas Diponegoro, Vol 1, September 2005: Sistem Pencahayaan Buatan efektif dan Efisien pada Bangunan Gedung oleh Hermawan
- RSNI 03-2396-2001 tentang Tata cara perancangan sistem pencahayaan alami pada bangunan gedung

¹⁰ Berdasarkan atas pengamatan di lapangan pada November 2007, terhadap salah satu ruang kelas pada dua Sekolah, SDN Beji 6 dan SDN Beji 7

¹¹ Asumsi Penulis, 2008. Efektivitas adalah ukuran yang menyatakan sejauh mana peningkatan kualitas pencahayaan dalam suatu ruang kelas telah tercapai akibat dari penggunaan bidang pemantul



kondisi ruang kelas yang ada pada peningkatan intensitas dan distribusi pencahayaan?

1.4. PENELITIAN SEBELUMNYA

Dasar dari penelitian ini adalah penelitian yang telah dilakukan oleh Hardjanto (2004) dan Christiane (2005) dalam rangka penyelesaian tesis, pada Jurusan Arsitektur, Institut Teknologi Bandung. Pada penelitian tersebut, diteliti mengenai perbaikan kualitas pencahayaan alami dalam ruang kelas melalui rekayasa komponen pengendali cahaya (bidang pemantul), di sekolah Ma'had Al-Zaytun, Indramayu. Hardjanto dan Christiane sama-sama meneliti dua ruang kelas lantai 4 dengan *double loaded corridor* dan orientasi bukaan timur-barat. Penelitian dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer desktop radiance pada tiga waktu: 22 Juni, 21 September, dan 22 Desember.

Hardjanto lebih menitik beratkan penelitian 12 model pemantul berdasarkan karakter *shading device*, dan tiap-tiap model diterapkan material dengan reflektansi 15% dan 90%. Hasilnya adalah pemantul tipe 3 dan 9 dengan reflektansi material 90% paling efektif dalam perbaikan kualitas pencahayaan alami.

Sedangkan Christiane, melanjutkan hasil penelitian Hardjanto, terutama tipe 3, lebih menitik beratkan pada pencarian alternative untuk mengurangi *glare* (pada penelitian yang dilakukan oleh Hardjanto, tidak diberikan cara alternatif untuk mengurangi *glare* tersebut) dengan cara menambah sudut pengendali cahaya tipe 3 horizontal dengan perbedaan setiap sudut adalah 5° . Hasilnya adalah sudut pemantul terbaik yaitu 35° , pada rentan yang terbaik yaitu 0° , serta $30^{\circ} - 45^{\circ}$. Pada sudut-sudut ini, menurut Christiane, pemantul mampu meningkatkan kualitas pencahayaan ruang.

Namun, terdapat beberapa kelemahan dari kedua penelitian terdahulu tersebut yaitu:

1. Penelitian dilakukan pada orientasi bukaan timur-barat, pada saat pagi kelas timur kelebihan cahaya, namun kelas barat kekurangan cahaya, pada saat sore hari yang terjadi sebaliknya, kelas barat kelebihan cahaya dan kelas timur kekurangan cahaya.
2. Penelitian dilakukan pada ruang kelas di lantai 4. Pada ketinggian ini, pemasukan cahaya cenderung tidak mendapatkan halangan apapun, kecuali ada bangunan lain atau pohon didepan bukaan yang lebih tinggi dari ketinggian empat lantai.



1.5. BATASAN PENELITIAN

Batasan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lingkup Penelitian

Objek yang akan diteliti adalah bidang pemantul (*light shelf*) dengan kombinasi antara pemantul interior dan eksterior, sudut bidang pemantul, serta penggunaan beberapa material.

2. Lingkup Studi Kasus

Lokasi studi kasus yang dipilih adalah Sekolah Dasar (negeri dan swasta) di Kota Depok. Dari 294 Sekolah Dasar di Kota Depok, diambil 5 Sekolah Dasar yang mewakili 3 wilayah dengan jumlah Sekolah Dasar terbesar.

3. Lingkup Materi Pengukuran

Objek pengukuran adalah intensitas (lux) pencahayaan alami pada ruangan kelas studi kasus

1.6. TUJUAN DAN MANFAAT

1.6.1. Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

Mengidentifikasi efektivitas bidang pemantul cahaya alami dari segi peningkatan kualitas dan pemerataan cahaya yang sesuai standar pada simulasi ruang kelas dan mengidentifikasi efektivitas perubahan sudut pada bidang pemantul dengan membandingkannya kembali pada kondisi yang ada dari ruang kelas studi kasus guna meningkatkan kenyamanan visual Ruang Kelas Sekolah Dasar.

1.6.2. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Perbaikan kualitas pencahayaan alami dalam hal intensitas dan distribusi cahaya ruang kelas sekolah dasar melalui rekayasa komposisi bidang pemantul guna mencapai kenyamanan visual
2. Menjadi acuan bagi penelitian mengenai bidang pemantul berikutnya
3. Sebagai masukan bagi perancangan pencahayaan alami untuk pengembangan pembangunan fisik ruang kelas selanjutnya



1.7. URUTAN PENULISAN

Tesis ini akan berisi lima bab yang terdiri dari:

Bab Pertama

Memaparkan pendahuluan yang mencakup: latar belakang permasalahan, permasalahan, identifikasi masalah, evaluasi penelitian sebelumnya, batasan penelitian, tujuan & manfaat penelitian, urutan penulisan, dan alur pikir.

Bab Kedua

Merupakan kajian teoritik dimana dipaparkan teori-teori yang berkaitan dengan pencahayaan alami, pemantulan sinar, dan strategi pencahayaan alami tidak langsung

Bab Ketiga

Memaparkan metode penelitian yang terdiri dari: variabel penelitian, teknis penelitian, rancangan penelitian, teknik pengumpulan data serta alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

Bab Keempat

Memaparkan objek, proses pengujian pengukuran, pengumpulan data, dan analisis

Bab Kelima

Berisi kesimpulan dari analisis pengujian dengan simulasi komputer dengan pengukuran yang ada, untuk kemudian dikemukakan temuan dari seluruh proses penelitian, sehingga memungkinkan untuk menghasilkan usulan-usulan yang bisa dikembangkan untuk perancangan selanjutnya

Bab Keenam

Berisi kesimpulan dari keseluruhan proses simulasi dan analisis. Untuk kemudian bisa didapatkan saran-saran yang berguna bagi penelitian selanjutnya

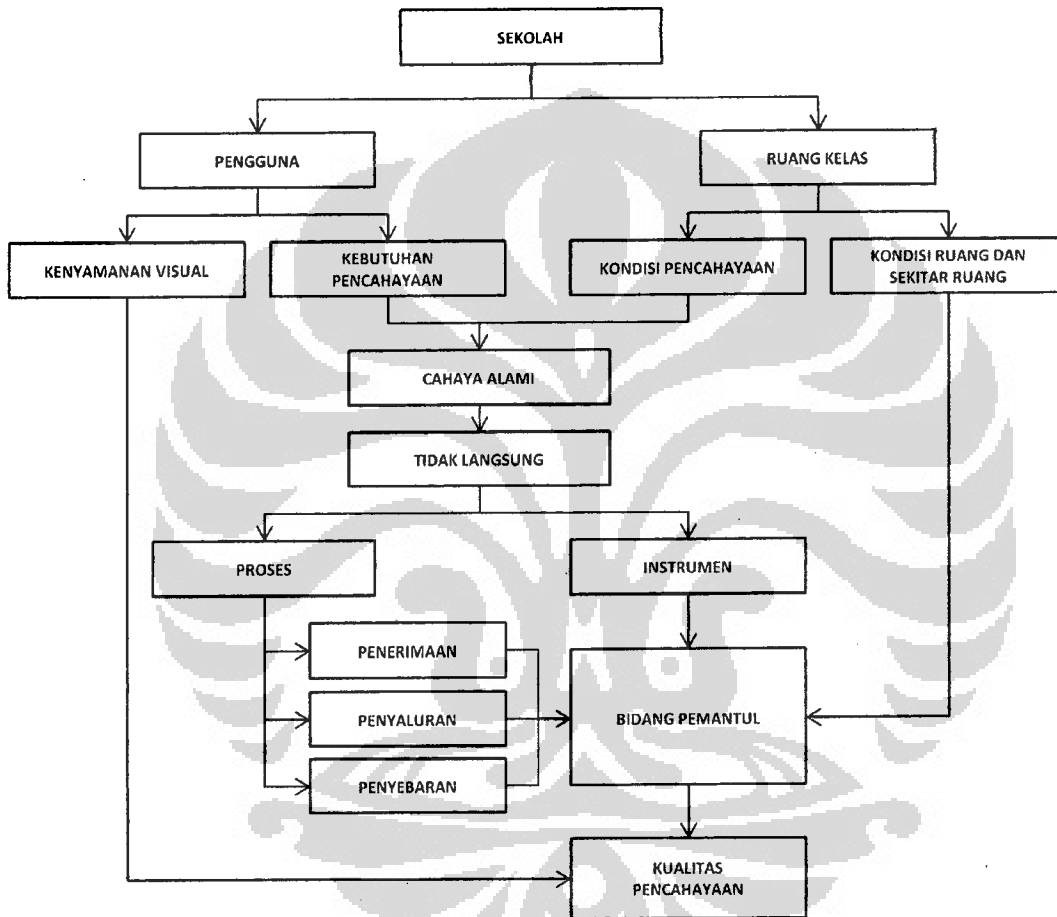
1.8. RESUME PENDAHULUAN

Pemasukkan cahaya langsung dapat mengakibatkan peningkatan panas dan glare, terutama pada daerah tropis. Untuk itu dibutuhkan suatu strategi bidang pemantul sebagai sistem pencahayaan alami tidak langsung. Pada penelitian sebelumnya telah diteliti mengenai bidang pemantul dengan kombinasi elemen



vertikal-horizontal serta penggunaan sudut dengan ruang kelas yang digunakan adalah orientasi bukaan timur-barat serta menggunakan *double loaded corridor*. Pada penelitian ini diteliti mengenai efektivitas bidang pemantul ini pada kondisi sekitar ruang kelas yang berbeda-beda, orientasi bukaan utara-selatan, serta ruang kelas dengan *single loaded corridor*.

1.9. ALUR PIKIR



Gambar 1.1: Alur Pikir



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. CAHAYA

Cahaya adalah pita kecil relative dari radiasi elektromagnet yang sangat sensitive bagi mata. Spektrum cahaya melebar mulai dari 380 nm (violet) sampai 780 nm (merah). Setiap panjang gelombang¹² mempunyai penampilan warna yang berbeda, mulai dari gelombang pendek violet, selanjutnya biru, hijau, hijau kekuningan, orange, menuju ke gelombang panjang merah, spectrum dari cahaya matahari menjabarkan sebuah sekuen yang berkelanjutan.

Masuknya sinar matahari baik *diffuse* maupun sinar langsung ke dalam ruangan akan bervariasi pula, tergantung dimana terdapat lubang cahaya pada bangunan yang berfungsi sebagai sumber cahaya. Lubang cahaya itu dapat terletak pada atap (*toplighting*) maupun pada dinding luar bangunan (*sidelighting*). Dari kondisi inilah, maka karakteristik rancangan lubang cahaya pada dinding luar (di atas, tengah, atau bawah) tersebut biasanya disertai dengan elemen pembayang (*shading device*), jenis kaca, orientasi bangunan dan ketinggian lantai bangunan, secara langsung akan mempengaruhi distribusi dan besaran iluminasi di dalam ruangan.

2.2. Kenyamanan Visual

Penerangan mengandung aspek kuantitas (intensitas cahaya) dan kualitas (warna, kesilauan). Kesialuan dapat terjadi secara langsung (tersorot lampu) maupun tidak langsung (pantulan). Terlalu banyak cahaya akan menyebabkan mata lelah. Terus menerus berada di tempat bercahaya, sama merugikannya dengan terus menerus berada di tempat gelap karena irama gelap-terang yang membantu pengendalian suhu tubuh serta sekresi hormone ke aliran darah akan terganggu.

Manusia memberi respon estatis dan emosional¹³. Respon estetis menyangkut baik-buruk, gelap-terang, terlalu merah-terlalu biru yang merupakan respon seketika. Sedangkan respon emosional menyangkut suasana hati gembira, bosan, senang, terhanyut, dll. yang merupakan reaksi perasaan mendalam yang berkembang perlahan-lahan.

¹² Panjang gelombang diukur pada nanometer (nm) = 10^{-9} m = 10^{-7} cm.

¹³ Prasasto Satwiko, Fisika Bangunan 1, Edisi 2, 2005. Hal. 95

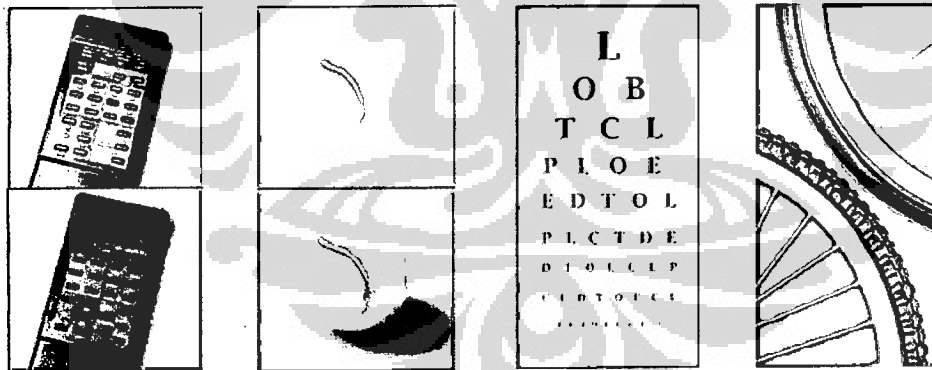


Respon ini berkaitan dengan stimulus dari cahaya yang diterima oleh alat indera, dalam hal ini adalah indera penglihatan. Stimulus ini berperan kuat dalam kejiwaan manusia. Dalam penelitian ini respon dari manusia tidak akan diteliti, karena yang akan dinilai adalah efektivitas dari tingkat pencahayaan.

2.2.1. Fisiologi Cahaya

Komponen optikal dari mata dapat disamakan dengan kamera fotografi. Optik *image-producing* merupakan isi kornea, yaitu lensa dan *intervening aqueous humour*. Bagian dalam lensa berisi cairan bening. Retina pada dinding belakang dari mata adalah layar proyektor. Terdiri dari sekitar 130 juta sel penglihatan. Sebanyak 7 juta sel kerucut adalah receptors warna yang sensitif. Ini mengambil peran pada saat level tinggi dari *luminance* untuk kebutuhan penglihatan siang hari. Berdasarkan hal tersebut, Menurut Medien, Fördergemeinschaft Gutes Licht (FGL), 2004, kebutuhan minimum yang dibutuhkan mata untuk mencapai kenyamanan adalah minimum luminance, minimum kontras, minimum ukuran, minimum waktu.

Pada gambar 2.1 dapat terlihat lebih jelas mengapa diperlukan kebutuhan minimum tersebut.



Minimum luminance Minimum kontras Minimum ukuran Minimum waktu

Gambar 2.1: Empat kebutuhan minimum untuk persepsi dan identifikasi

(Sumber: Fordergemeinschaft Gutes Licht (FGL), 2004)

1. **Minimum luminance** dibutuhkan agar sebuah objek dapat terlihat (adaptasi luminance). Objek dapat teridentifikasi dengan detail ketika siang menjadi senja dan tidak ada persepsi gelap.



2. Untuk objek yang akan diidentifikasi, dibutuhkan perbedaan antara brightness-nya dengan brightness sekeliling benda tersebut (**kontras minimum**). Biasanya hal ini berlangsung secara simultan kontras warna dan luminance
3. **ukuran minimum** yang mampu diterima mata
4. Persepsi membutuhkan **waktu yang minimum**. Peluru, sebagai mudahnya, bergerak sangat cepat. Ban yang bergerak lambat dapat terlihat detailnya, namun jika berputar pada kecepatan tinggi, segalanya menjadi kabur.

2.2.2. Kemampuan Penglihatan

Berhubungan dengan pemenuhan kenyamanan visual berarti menyangkut kepada pengguna ruang tersebut. Dalam hal ini, dalam ruangan kelas, manusia menerima informasi dalam bentuk bermacam-macam. Dalam penerimaan informasi tersebut, manusia erat hubungannya dengan cahaya. Sebagian besar informasi yang diterima manusia diterima melalui mata.

Berkaitan dengan organ penglihatan tersebut, mata manusia mengalami perubahan kemampuan melihatnya. Kemampuan melihat disini adalah kemampuan dalam menerima informasi dalam bentuk cahaya, untuk kemudian diinterpretasikan oleh otak. Maka menurut Cutzu dan Edelman (1996) kemampuan melihat seseorang dapat dibedakan berdasarkan usianya:

- a. *Basic* (0-3 tahun)
- b. *School-age* (3-12 tahun)
- c. *Adolescents* (12-18 tahun)
- d. *Adults* (18-35 tahun)

Pada usia 18-35 tahun kemampuan melihat mengalami puncaknya. Setelah rentan usia tersebut, kemampuan melihat mengalami penurunan bertahap sesuai penggunaan dan asupan gizinya.

Merujuk kepada kemampuan melihat, kemampuan ini mulai berkembang banyak pada rentan *school-age*. Pada usia ini mata mulai banyak menerima informasi dari luar keluarga, Dalam hal ini lingkungan sosialnya. Pada rentan ini, dibutuhkan pencahayaan yang seoptimal mungkin. Sehingga mata dapat menerima informasi tanpa harus melakukan usaha akomodasi¹⁴ yang berat.

¹⁴ Jakarta Eye Center, tim peneliti. *Kelainan Refraksi*. Maret. 2003. Akomodasi mata adalah Efek makin cembungnya lensa mata, yaitu dimana cahaya akan lebih terfokus didepan retina. URL: <http://www.jakarta-eye-center.com>



2.3. Standar Pencahayaan Ruang Kelas

Perbedaan mendasar antara penerangan buatan dan penerangan alami di dalam ruangan adalah bahwa pada penerangan buatan tingkat pencahayaan pada permukaan bidang kerja relatif selalu konstan, sedangkan pada penerangan alami tingkat pencahayaan pada bidang kerja (di luar ruangan) selalu berubah dari waktu ke waktu tergantung pada posisi ketinggian matahari, kondisi cuaca, dan kondisi langit (cerah, berawan sebagian atau berawan seluruhnya).

Kualitas pencahayaan alami yang harus dan layak disediakan, ditentukan oleh pertama, penggunaan ruangan, khususnya ditinjau dari segi beratnya penglihatan oleh mata terhadap aktivitas yang harus dilakukan dalam ruangan itu. Kedua adalah lamanya waktu aktivitas yang memerlukan daya penglihatan yang tinggi dan sifat aktivitasnya, sifat aktivitas dapat secara terus menerus memerlukan perhatian dan penglihatan yang tepat, atau dapat pula secara periodik dimana mata dapat beristirahat.

Dalam kualitas pencahayaan, ada dua hal yang menjadi penting, intensitas cahaya dan distribusi cahaya

2.3.1. Intensitas Cahaya

Beberapa standarisasi¹⁵ mengungkapkan secara terperinci tentang kebutuhan dan tata cara rancangan penerangan alami dan buatan sebagai pedoman dalam merancang rumah dan gedung di Indonesia. Dalam kajian tentang penerangan alami ruang kelas ini ditentukan standar penerangan 250 – 300 Lux di meja belajar dan 400-500 Lux pada daerah papan tulis.

Standarisasi ini bukan merupakan nilai pada satu titik, namun lebih kepada standar pada distribusi pencahayaan. Jika standarisasi ini hanya dinilai pada satu titik, sementara titik yang lain mengalami kekurangan atau kelebihan tingkat pencahayaan, distribusi pencahayaannya dapat dikatakan kurang merata. Tingkat pemerataan

¹⁵ Menurut beberapa penelitian didapat standar kenyamanan visual untuk ruang belajar adalah 250-300 Lux pada meja belajar dan 450-500 lux pada papan tulis. Penelitian tersebut antara lain:

- Tata Cara Perancangan Penerangan Alami Siang Hari untuk Rumah & Gedung dan Penerangan Buatan di dalam Gedung yang diterbitkan oleh Yayasan Lembaga Masalah Bangunan (LPMB).
- Jurnal Ilmiah Nasional Efisiensi dan Konservasi Energi, Universitas Diponegoro, Vol 1, September 2005: Sistem Pencahayaan Buatan efektif dan Efisien pada Bangunan Gedung oleh Hermawan
- RSNI 03-2396-2001 tentang Tata cara perancangan sistem pencahayaan alami pada bangunan gedung



distribusi pencahayaan juga dijadikan salah satu indikator dalam keberhasilan pencahayaan ruang.

2.3.2. Distribusi Cahaya

Kualitas pencahayaan alami siang hari dalam suatu ruangan dapat dikatakan baik apabila :

1. tingkat pencahayaan yang minimal dibutuhkan selalu dapat dicapai atau dilampaui tidak hanya pada daerah-daerah di dekat jendela atau lubang cahaya tetapi untuk ruangan secara keseluruhan.
2. tidak terjadi kontras antara bagian yang terang dan gelap yang terlalu tinggi (40:1) sehingga dapat mengganggu penglihatan

Nilai distribusi cahaya dalam suatu ruangan berkaitan erat dengan nilai *uniformity* atau keseragaman dari tingkat pencahayaan pada ruangan tersebut (Assaf, 1997).

Cahaya alami yang masuk ke dalam bangunan melalui jendela memiliki gradasi iluminansi yang sangat kuat, mulai dari tingkat tinggi di dekat jendela sampai tingkat rendah pada bagian dinding berlawanan dengan jendela. Umumnya, pengguna lebih toleransi terhadap ketidakseragaman (*lack of uniformity*) pencahayaan alami dibanding mereka harus menggunakan pencahayaan buatan. Bagaimanapun juga, usaha apapun untuk meningkatkan *uniformity* sangatlah diinginkan.

Untuk meningkatkan *uniformity* dapat dilakukan dengan mengurangi tingkat pencahayaan maksimum atau meningkatkan tingkat pencahayaan minimum. Namun pilihan bergantung kepada mekanisme pengontrol, misalnya elemen pembayang (*shading device*) pada jendela atau penggunaan pencahayaan buatan pada bagian yang berlawanan dengan jendela.

2.3.3. Pengurangan Efek Negatif

Efek negatif yang dimaksud disini adalah efek yang mengakibatkan ketidaknyamanan visual pengguna ruang, yaitu silau atau *glare*. *Glare* terjadi jika kecerahan dari suatu bagian dari interior jauh melebihi kecerahan dari interior tersebut pada umumnya. Sumber silau yang paling umum adalah kecerahan yang berlebihan dari armatur dan jendela, baik yang terlihat langsung atau melalui pantulan.



Glare dapat diakibatkan oleh penggunaan material yang tidak memiliki kekasaran (*roughness*) dan/atau akibat pemasukan cahaya secara langsung yang langsung mengenai mata.

Ada dua macam silau¹⁶, yaitu *disability glare* yang dapat mengurangi kemampuan melihat, dan *discomfort glare* yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan penglihatan. Kedua macam silau ini dapat terjadi secara bersamaan atau sendiri-sendiri.

2.4. Terang Alami

Adapun dua macam penerangan alami yang berasal dari matahari, yakni secara langsung dan tidak langsung. Terang langsung adalah sinar dari matahari ke bangunan tanpa mendapat halangan apapun. Terang tidak langsung adalah pantulan cahaya matahari oleh awan serta benda-benda pada bangunan dan disekeliling bangunan.

Untuk secara efektif menggunakan pencahayaan alami, yang pertama dinilai adalah ketersediaan. Kuantitas dan kualitas dari kebutuhan pencahayaan untuk sebuah bangunan dipengaruhi oleh kondisi iklim regional. Pola ketersediaan cahaya alami dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kondisi tapak sekitar, vegetasi, dan bangunan itu sendiri. Berbagai macam kondisi pencahayaan secara dramatis akan menciptakan kondisi yang berbeda-beda dari persepsi lingkungan dan respon arsitektural. Tiga sumber¹⁷ dari cahaya alami adalah:

- a. *Daylight* – Cahaya terdifusi yang menembus langit berawan atau sebagian berawan
- b. *Sunlight* – Cahaya langsung dari matahari yang menembus langit cerah atau sebagian berawan
- c. *Reflected light* – Cahaya yang terefleksikan dari sekitar bangunan

Sumber cahaya ini bisa saling mengisi antara satu dengan yang lainnya. Tidak mungkin terjadi hanya satu sumber pencahayaan diatas yang berperan, karena setiap sinar matahari yang mengenai bumi, dapat mengalami ketiga hal diatas secara bersamaan.

¹⁶ Berdasarkan RSNI 03-2396-2001. Departemen Pekerjaan Umum, 2001.

¹⁷ Sumber yang dimaksud adalah dari mana cahaya itu datang. M. David Egan, *Architectural Lighting*. 2002. Hal. 89.



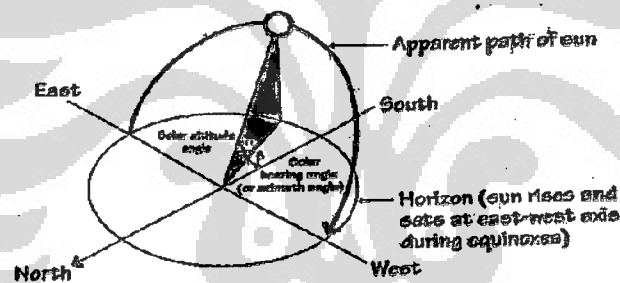
2.4.1. Sudut Matahari

Posisi matahari bervariasi menurut kondisi latitude, musim, dan waktu harian. Seperti ditunjukkan pada ilustrasi dibawah ini, sudut *altitude*, sudut α , adalah sudut antara horizon dan posisi matahari diatas horizon. Sudut bearing matahari (*azimuth*), sudut β , adalah sudut antara sumbu utara-selatan dan bidang vertikal matahari.

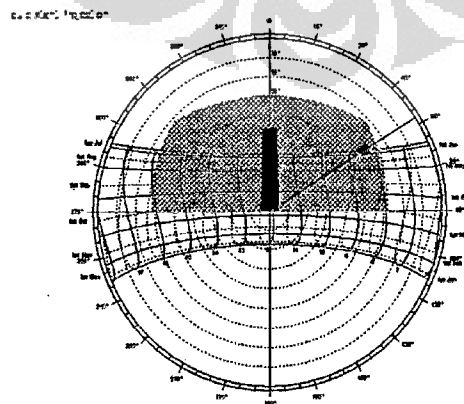
Pada kondisi Indonesia, terutama wilayah sekitar Jakarta, posisi matahari akan sedikit berada di selatan khatulistiwa (sekitar 6°). Akibatnya peredaran matahari akan cenderung sedikit berada di wilayah selatan terutama pada bulan-bulan Oktober sampai Maret. Memang untuk daerah sekitar garis khatulistiwa, kondisi ini cenderung tidak berpengaruh. Gambar 2.2 menjelaskan tentang sudut-sudut apa saja yang berlaku pada perhitungan lintasan matahari dan pembayangannya.

Gambar 2.3 adalah contoh diagram lintasan matahari, untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya.

Sun's Orbit



Gambar 2.2: Sudut-sudut dalam Lintasan Matahari
(Sumber: *Architectural Lighting*, M David Edan, 2002)



Gambar 2.3: Diagram Lintasan Matahari untuk Wilayah Jakarta dan sekitarnya
(Sumber: *Program Solar Tools*, 2007)



Pada gambar 2.2. sudut *altitude* dapat dijadikan patokan apabila diproyeksikan terhadap bidang horizontal atau vertikal yang tegak lurus terhadap objek pengukuran. Proyeksi tersebut menghasilkan dua sudut: HSA dan VSA. HSA adalah *Horizontal Shadow Angle* atau sudut bayangan horizontal, sudut pada proyeksi horizontal yang terbentuk akibat proyeksi sudut *altitude* terhadap bidang horizontal yang tegak lurus terhadap dinding yang terbayangi. Sedangkan VSA adalah *Vertical Shadow Angle* atau sudut bayangan vertikal, sudut pada proyeksi vertikal yang terbentuk akibat proyeksi vertikal sudut *altitude* terhadap bidang vertikal yang tegak lurus terhadap dinding yang terbayangi.

Kedua sudut tersebut berpengaruh terhadap pembentukan bayangan dan perhitungan sinar datang matahari, dikarenakan yang menjadi patokan adalah objek pengukuran (bangunan).

2.4.2. Kondisi Terang Langit di Indonesia

Peredaran matahari di alam semesta mempengaruhi iklim tapak suatu lokasi di bumi, karakteristik kehidupan di suatu kawasan, serta kondisi terang langit yang terjadi. Kondisi terang langit untuk rancangan penerangan alami siang hari dapat ditentukan dengan menggambarkan kondisi penutup langit (kubah langit), apakah cerah, berawan, atau mendung. Tiap-tiap penggambaran kondisi langit tersebut mempunyai karakteristik tertentu yang mempengaruhi rancangan penerangan alami siang hari.

Kondisi pencahayaan alami di Indonesia, dengan sumber cahaya matahari yang kaya sepanjang tahun, sangat mempengaruhi keragaman kondisi terang langit. Akan tetapi karena Indonesia beriklim tropis dengan dua musimnya yang kontras (musim kemarau dan musim penghujan) pada hari cerah dan mendung, kondisi langitnya sangat beragam. Pada musim kemarau kubah langit menampilkan terang yang berlebihan, sedangkan pada musim penghujan kondisi kubah langit sangat bervariasi. Dari kondisi inilah maka rancangan penerangan alami di Indonesia sangat berhubungan erat dengan ketersediaan iluminasi di dalam bangunan atau cukupnya faktor cahaya siang hari dalam suatu fungsi kegiatan tertentu di dalam bangunan.

Keuntungan kondisi pencahayaan alami tersebut adalah perancangan sistem pencahayaan alami dapat dilakukan kapanpun tanpa harus mempertimbangkan musim. Ini bertolak belakang dengan kondisi Negara-negara sub tropis, dimana perancangan sistem pencahayaan alami harus mempertimbangkan sinar matahari yang bersinar



hanya satu arah mata angin saja, sementara pada sisi yang lain tidak mendapatkan sinar matahari

2.5. Sistem Pencahayaan Alami

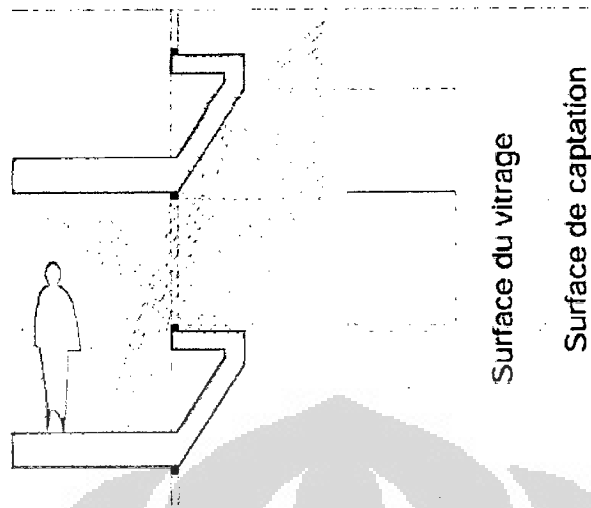
Matahari adalah sumber terbesar cahaya. Penggunaan secara baik pada perancangan bangunan dapat membuat efisiensi energi dan keindahan estetis. Bagaimanapun, jika tidak secara hati-hati merancang, bangunan akan kelebihan panas (overheat), menjadi sangat terang, atau distribusi cahaya yang buruk. Beban panas yang berlebihan adalah masalah umum yang berkaitan erat dengan pencahayaan alami. Pencahayaan alami memberikan efisiensi tinggi (120-150 lm/W) jika dibandingkan dengan lampu *fluorescent* (30-100 lm/W).

Untuk semua desain pencahayaan, tujuan utama adalah memberikan iluminansi untuk aktivitas visual dan kenyamanan visual. Dengan cahaya matahari, strategi desain dasar adalah menggunakan pencahayaan alami tidak langsung. Desain pencahayaan alami juga harus terintegrasi dengan arsitektur. Desain seharusnya memasukkan cahaya dalam jumlah yang dibutuhkan, gunakan secara efisien, dan ubah arahnya agar iluminansi seimbang dan menghindarkan dari *glare*.

Secara umum, proses masuknya cahaya alami dalam bangunan dibagi menjadi tiga proses (Tim Dosen : MIT Open Course Ware, 2006): *collecting* (pengumpulan), *transporting* (pemasukkan), dan *distributing* (penyebaran).

2.5.1. *Collecting* (Pengumpulan)

Collecting adalah proses mengumpulkan sinar matahari. Namun bukan berarti menampung sinar tersebut. Mengumpulkan hanya memasukkan sinar matahari ke dalam bangunan. *Collecting* sinar matahari dalam bangunan dapat dilakukan dengan dua cara, melalui *side lighting* dan *top lighting*:

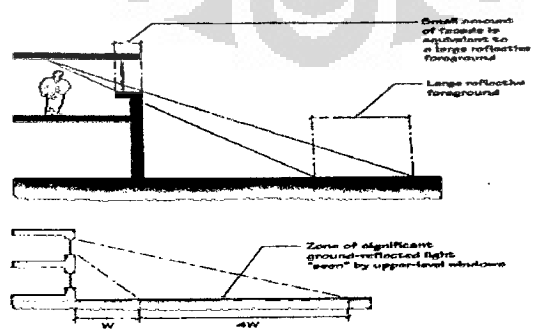


Gambar 2.4: Pengumpulan Sinar Matahari oleh Fasade
(sumber: MIT Open Course Ware, 2006)

Usaha *capturing*/menangkap pada fasade adalah usaha yang dilakukan untuk mengalihkan cahaya matahari ke dalam bangunan, pada gambar diberi nama *surface de captation*. Sedangkan bagian lain tidak mengalihkan cahaya alami ke dalam bangunan

2.5.1.1. Permukaan Horizontal

Cahaya akibat reflektansi bidang horizontal jumlahnya dapat melimpah di bagian bangunan yang terkena cahaya¹⁸. Cahaya yang terefleksi dari permukaan horizontal misalnya area kosong berwarna cerah dapat menjadi sumber cahaya alami yang signifikan, khususnya pada bangunan rendah.



Gambar 2.5: Permukaan Horizontal di Luar dan Dalam Bangunan
(Sumber: Architectural Lighting, M David Egan. 2002)

¹⁸ M David Egan. 2002. Architectural Lighting. 2002. Hal.93

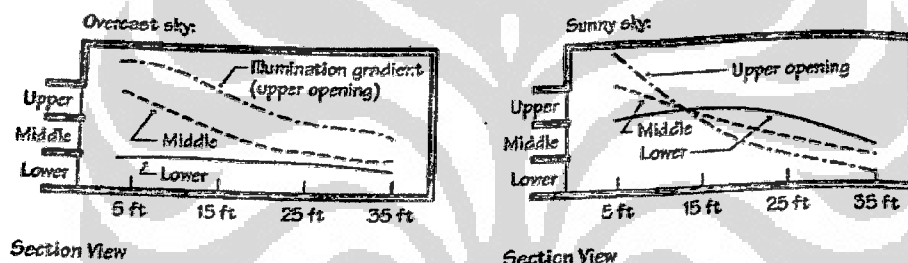


Permukaan horizontal sangat berpengaruh terhadap banyak atau tidaknya cahaya matahari yang terpantulkan ke dalam bangunan, baik dari segi material maupun luasan. Luasan tertentu dari bidang horizontal di luar bangunan sama kondisinya dengan luasan kecil pada bagian fasade bangunan apabila dipandang dari mata pengguna pada jarak tertentu. (gambar atas).

2.5.1.2. Sistem Pemasukkan Cahaya

Sistem Pencahayaan Samping (Sidelighting)

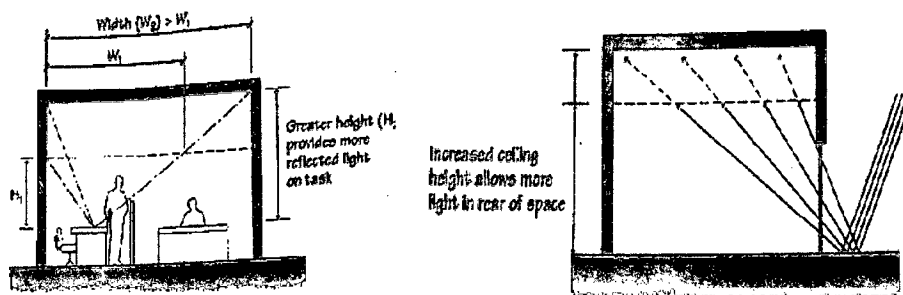
Penerangan dari samping bangunan merupakan salah satu metoda penerangan yang paling praktis. Sistem penerangan ini dipengaruhi oleh spesifikasi rancangan bangunan yang berhubungan dengan orientasi, skala, elemen pemantul dan konfigurasi penerangan dari samping akan dipengaruhi oleh bentuk posisi jendela, yaitu jendela tinggi, rendah, sedang, atau variasi (Hardjanto, 2004).



Gambar 2.6: Distribusi Pencahayaan pada Sistem Pencahayaan Samping
(Sumber: Architectural Lighting, M. David Egan, 2002)

Pada saat langit berawan, penggunaan jendela tinggi akan meningkatkan distribusi cahaya. Ini dikarenakan cahaya lebih banyak berasal dari langit, sementara cahaya refleksi luar bangunan tidak terlalu kuat (gambar 2.6 kiri). Namun pada saat langit cerah, penggunaan jendela tinggi akan mengakibatkan kelebihan distribusi pencahayaan pada daerah sekitar jendela, ini dikarenakan cahaya langit terlalu banyak. Sementara penggunaan jendela rendah akan meningkatkan distribusi cahaya, seperti yang sudah dijelaskan di atas (gambar 2.6 kanan). Penggunaan jendela sedang memang cenderung stabil pada kedua kondisi. Namun semakin jauh dari jendela, distribusi pencahayaan akan semakin menurun.

Pada perancangan side lighting, penggunaan plafond sangat menentukan, terutama ketinggian dari plafond tersebut terhadap bidang kerja.



Gambar 2.7 (kiri dan kanan) Pengaruh Ketinggian Plafond pada Distribusi Cahaya
(Sumber: *Architectural Lighting*, M. David Egan, 2002)

Meningkatkan jarak antara bidang kerja (meja) dengan plafond. Ini akan membuat sinar terefleksikan lebih banyak (atas). Apabila sinar terefleksikan ke luar bangunan sebelum masuk ke bangunan, meninggikan plafond, membuat sinar hasil refleksi lebih menyebar ke dalam ruang (bawah).

Sistem Penerangan Atap (Toplighting)

Untuk bangunan yang rendah dengan bentangan yang lebar, sistem penerangan atap merupakan bentuk penyinaran yang paling efisien. Kelebihan yang paling jelas dari toplighting dibandingkan dengan sidelighting adalah kebebasan untuk menempatkan sumber cahaya alami pada lokasi yang diinginkan, baik untuk disebarkan secara merata maupun pola apapun yang diperlukan bagi kegiatan pemakai ruang yang telah direncanakan. Kelemahan dari sistem ini menurut Hardjanto, 2004, adalah penggunaannya pada daerah tropis dapat meningkatkan panas dalam ruangan, karena sinar masuk langsung ke dalam bangunan. Pada bangunan di daerah tropis, penggunaan sistem ini perlu diikuti pula dengan penggunaan penahan masuknya sinar secara langsung.

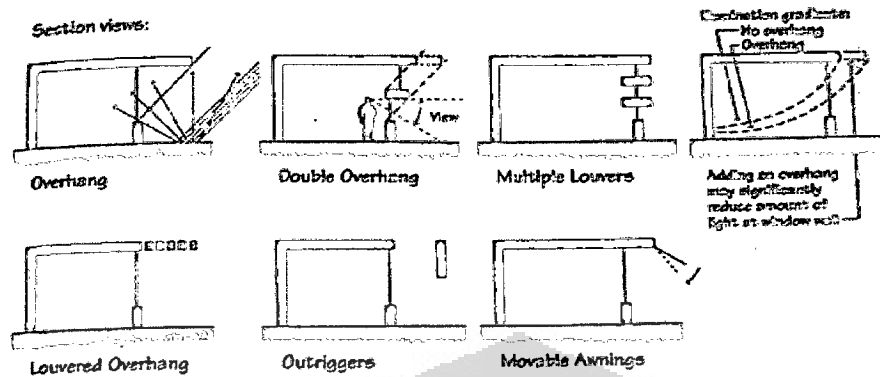
2.5.1.4. Sistem Pembayangan

Sistem pembayang dapat dikategorikan menjadi tiga elemen, yaitu horizontal, vertikal, atau kombinasi keduanya, atau sering merujuk kepada *egg-crate* (Egan, 2002).



A. Horizontal

Horizontal device memberikan pembayangan pada sudut altitude dari matahari.

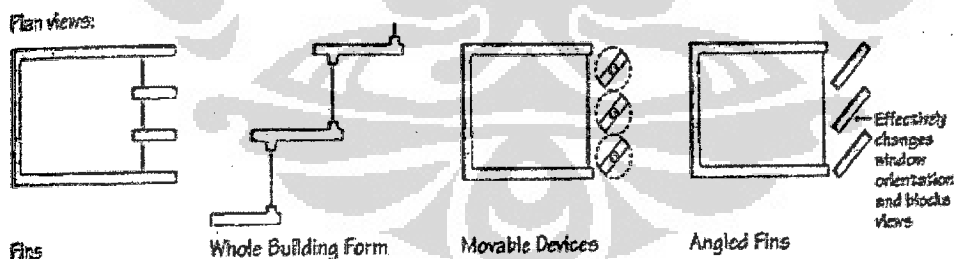


Gambar 2.8: Beberapa Aplikasi Sistem Pembayang Horizontal Device
(Sumber: Architectural Lighting, M. David Egan, 2002)

Penggunaan *horizontal overhang* pada bangunan di daerah tropis memberikan keuntungan dalam hal pembayangan terutama pada saat matahari tinggi serta pada saat hujan. Namun untuk distribusi pencahayaan, *overhang* yang hanya berfungsi sebagai pembayang (gambar atas paling kiri, atas paling kanan, dan semua gambar bawah) mengakibatkan adanya penurunan distribusi pencahayaan.

B. Vertical

Vertical device memberikan pembayangan pada sudut azimuth matahari.



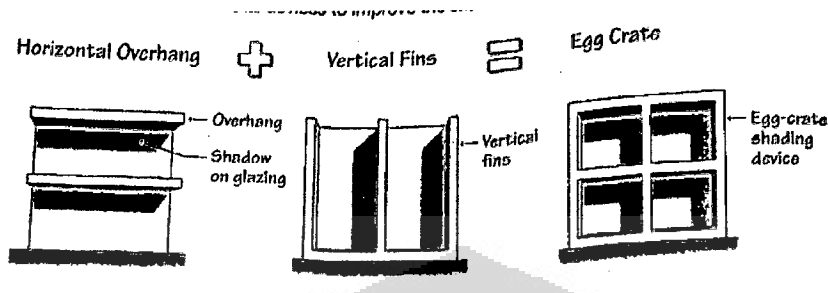
Gambar 2.9: Beberapa Aplikasi Sistem Pembayang Vertical Device
(Sumber: Architectural Lighting, M. David Egan, 2002)

Penggunaan *vertical device* cocok membayangi bangunan pada saat sudut rendah matahari, yaitu pagi dan sore hari. Dari segi pencahayaan, *vertical device* cenderung tidak menjadi hambatan, terutama pada sudut tinggi matahari.



C. Egg-crate

Egg-crate shading device adalah kombinasi karakter vertical dan horizontal device untuk meningkatkan area pembayangan.



Gambar 2.10: Egg-crate, Kombinasi Antara Horizontal dan Vertical Device
(sumber: Architectural Lighting, M. David Egan. 2002)

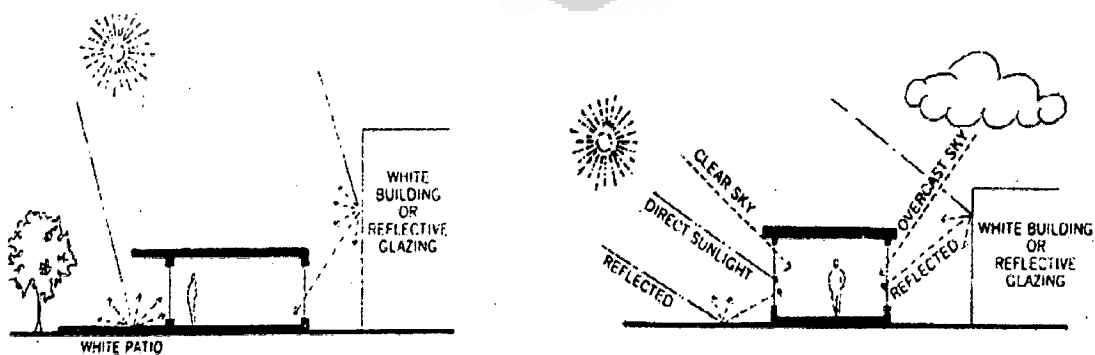
Dari segi pembayangan, sistem egg-crate ini merupakan solusi paling efektif untuk daerah tropis yang melimpah sinar matahari. Namun dari segi distribusi pencahayaan, justru dengan berlipatnya pembayangan semakin menurunkan distribusi pencahayaan.

Sistem pembayangan ini merupakan dasar penentuan lokasi dan komposisi dari bidang pemantul. Karena pada dasarnya bidang pemantul dapat berfungsi sebagai pembayang. Namun, dalam sistem pemantul, aspek jatuhnya bayangan cenderung diabaikan. Mengenai hal ini akan lebih dijelaskan pada bagian Sistem Perubah Arah Sinar Matahari

2.5.1.5. Aspek-aspek dalam Pengumpulan Sinar:

Pada tahapan ini, ada beberapa aspek yang dapat mempengaruhi adalah:

A. Aspek Lingkungan



Gambar 2.11: Proses Cahaya Sampai ke Dalam Bangunan
(Sumber: Heating, Cooling, Lighting, Lechner, 1991)

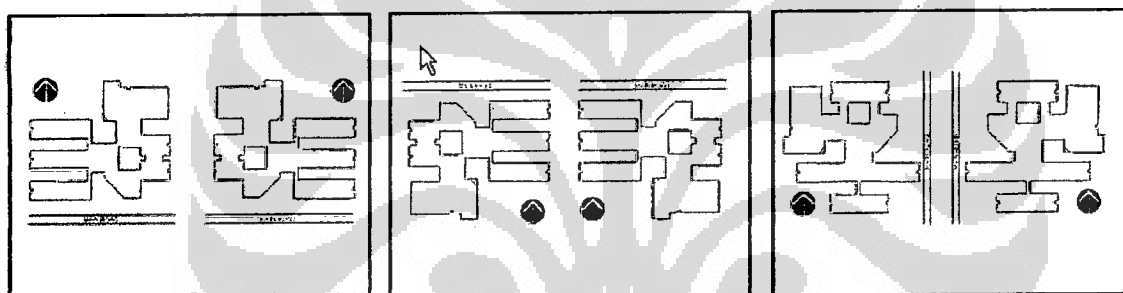


Seperti yang disebutkan pada bagian permukaan horizontal dan vertikal diatas, lingkungan sangat berpengaruh dalam usaha pemasukkan cahaya alami ke dalam bangunan terutama dalam hal merefleksikan cahaya alami tersebut.

Beberapa aspek lingkungan yang perlu mendapat perhatian antara lain (Mangunwijaya, 1980):

- a. Keterkaitan bangunan dengan lingkungan sekitar yang mempunyai pengaruh terhadap hasil atau kualitas cahaya yang masuk ke dalam bangunan
- b. Faktor site dalam bangunan berpengaruh dalam penyebaran cahaya ke dalam bangunan
- c. Pola penyebaran cahaya dalam site kawasan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan reflektansi material sekitar bangunan

B. Aspek Desain Bangunan: Orientasi Bangunan



Gambar 2.12: Orientasi Bangunan untuk Penangkapan Cahaya

(Sumber: : Russell P. Leslie, *Guide for Daylighting School*, 2004)

Cahaya alami sangat erat kaitannya dengan masalah orientasi, dimana orientasi arah utara – selatan merupakan orientasi terbaik untuk semua bangunan (Leslie, 2004), tidak terkecuali hanya pencahayaan alami pada daerah tropis seperti Indonesia. Namun, pada daerah tropis matahari cenderung menyinari secara konstan baik sisi utara maupun selatan bangunan. Sementara pada bangunan yang berada pada wilayah bumi bagian utara atau selatan, matahari hanya efektif menyinari Sisi timur – barat menjadi orientasi yang buruk, karena pada sisi ini bangunan hanya akan mendapatkan cahaya matahari maksimum selama setengah hari untuk tiap sisi.



2.5.2. Transporting (Pemasukkan)

Setelah melalui proses collecting, cahaya matahari kemudian ditransportasikan. Disini terdapat dua sistem, yaitu langsung dan tidak langsung:

2.5.2.1. Sistem Pencahayaan Langsung

Dalam sistem pencahayaan langsung, cahaya matahari dimasukkan ke dalam ruangan secara langsung atau tanpa ada penghalang apapun (kecuali berupa bahan tembus cahaya). Sistem ini tidak cocok diterapkan di daerah yang beriklim tropis seperti Indonesia, dimana sinar matahari bersinar terus-menerus sepanjang tahun. Penggunaan cahaya matahari secara langsung, dapat meningkatkan suhu ruangan. Pada negara di belahan sub-tropis bangunan memaksimalkan efek negatif ini dengan membuka bukaan selebar-lebarnya pada sisi yang terkena sinar matahari pada saat musim dingin.

2.5.2.2. Sistem Pencahayaan Tidak Langsung

Cahaya yang masuk ke dalam ruangan tidak langsung diterima oleh bidang kerja atau objek penglihatan, melainkan terlebih dahulu mengalami pemantulan. Akibat adanya pemantulan ini maka akan terjadi pencahayaan difusi¹⁹. Pencahayaan alami tidak langsung secara makro dapat diuraikan berupa elemen-elemen eksterior ruangan yang dapat memantulkan sinar matahari seperti vegetasi dan bangunan disekitar ruangan. Sedangkan secara mikro dapat diuraikan berupa elemen-elemen yang berada pada jendela serta elemen-elemen interior seperti furniture, plafond, dan lantai.

2.5.2.3. Perubah Arah Sinar Matahari

Sebagai strategi dari sistem pencahayaan alami tidak langsung, perubah arah matahari berperan besar memantulkan cahaya matahari ke dalam bangunan. Untuk lebih jelasnya akan dibahas kemudian di bagian Perubah Arah Matahari

¹⁹ Difusi adalah refleksi dari cahaya dari sebuah permukaan yang tak beraturan atau kasar dimana sinar yang terpantulkan terefleksikan dalam beberapa sudut. Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_reflection

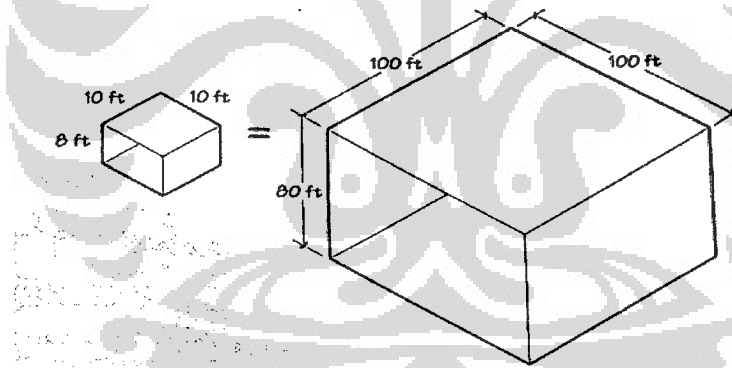


2.5.3. Distributing (Penyebaran)

Kualitas pencahayaan yang baik dalam sebuah ruangan adalah pencahayaan yang merata (Egan, 2002). Disinilah proses distribusi dari cahaya matahari yang harus merata di semua bidang kerja pada sebuah ruangan untuk menghindari adanya efek negatif. Efek negatif ini berupa *Glare* dan kesilauan. *Glare* adalah salah satu dari efek samping yang mengganggu dari pencahayaan. *Direct glare* diakibatkan oleh perbedaan contrast diantara permukaan yang sangat terang dengan yang sangat gelap. Sedangkan kesilauan adalah adanya over-illumination akibat adanya pemasukkan cahaya matahari secara langsung, yang mengenai objek penglihatan. Beberapa aspek yang berpengaruh pada distribusi pencahayaan yaitu:

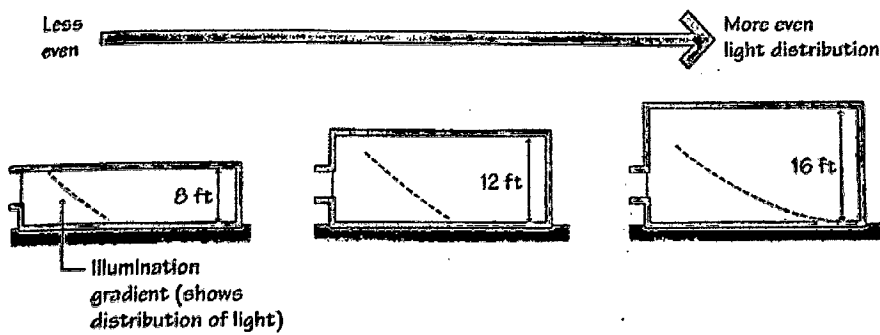
2.5.3.1. Proporsi Ruang

Proporsi ruang, bukan ukuran, menentukan distribusi cahaya. Ketika ketinggian plafond ditingkatkan, distribusi cahaya meningkat untuk pencahayaan toplighting dan sidelighting.



Gambar 2.13: Perbandingan Proporsi Ruang
(Sumber: *Architrectural Lighting*, M. David Egan, 2002)

Membesarkan ruangan dengan perbandingan yang sama pada tiap ukurannya bukan berarti menurunkan distribusi pencahayaan. Distribusi pencahayaan tetap sama, begitu pun dengan tingkat pencahayaannya. Namun peningkatan kualitas pencahayaan tetap diiringi oleh perubahan luasan jendela.

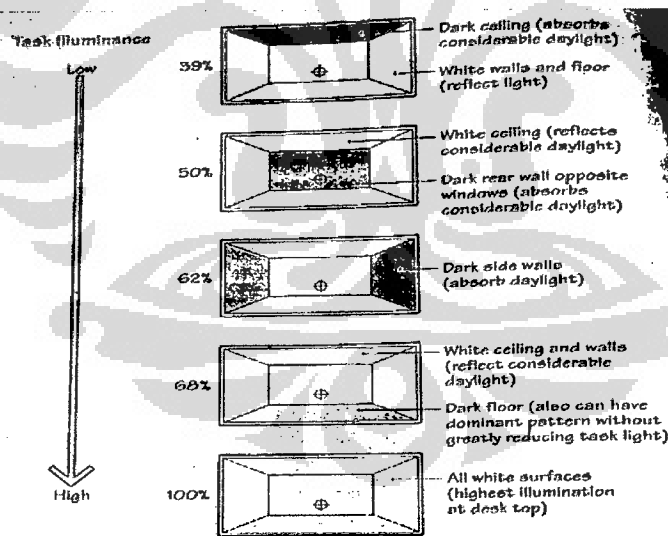


Gambar 2.14: Perbandingan Tinggi Ruang dengan Distribusi Cahaya
(Sumber: *Architectural Lighting*, M. David Egan, 2002)

Semakin tinggi ruangan, semakin baik distribusi pencahayaannya. Ini karena reflektansi cahaya antara plafond dan lantai semakin banyak.

2.5.3.2. Reflektansi Ruang

Distribusi cahaya sangat bergantung kepada reflektansi ruangan. Secara umum, plafond adalah permukaan reflektansi yang paling penting.



Gambar 2.15: Pengaruh Reflektansi Terhadap Tingkat Pencahayaan Ruangan
(Sumber: *Architectural Lighting*, M. David Egan, 2002)

Semakin banyak penggunaan material yang tingkat reflektansinya baik, terutama pada bagian plafond, tingkat pencahayaannya semakin baik. Ini karena cahaya yang masuk ke dalam ruangan cenderung memantul ke plafond sebelum



menuju bidang kerja. Pada gambar 2.18 dapat terlihat pada saat plafond digelapkan (paling atas) tingkat pencahayaan turun sampai 39%, sebaliknya jika lantai yang digelapkan, tingkat pencahayaannya meningkat drastis menjadi 68%.

2.5.3.3. Faktor Perawatan Permukaan Ruang (*Room Surface Maintenance Factor*)

Selain proporsi dan reflektansi, faktor kebersihan dari permukaan ruangan juga sangat berpengaruh terhadap kualitas pencahayaan dari ruangan tersebut. Faktor ini berkaitan dengan reflektansi dari suatu material. Semakin tidak terawatnya permukaan sebuah material, semakin menurunnya kualitas dari reflektansi material tersebut. Hal ini karena adanya debu dan perubahan warna material akibat perubahan iklim dan kebersihan udara pada ruangan tersebut, seperti terlihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1: Penggolongan Tingkat Kebersihan Ruang

Generated Dirt	Very Clean	Clean	Medium	Dirty	Very Dirty
	None	Very little	Noticeable but not heavy	Accumulates rapidly	Constant accumulation
Ambient Dirt	None (or none enters area)	Some (almost none enters)	Some enters area	Large amount enters area	Almost none excluded
Removal or Filtration	Excellent	Better than average	Poorer than average	Only fans or blowers if any	None
Adhesion	None	Slight	Enough to be visible after some months	High — probably due to oil, humidity, or static	High
Examples	High grade offices (not near production), laboratories, clean rooms	Offices in older buildings or near production, light assembly, inspection	Mill offices, paper processing, light machining	Heat treating, high speed printing, rubber processing	Similar to Dirty but luminaires within immediate area of contamination

(Sumber: United States Environmental Protection Agency, 1995)

2.6. Perubah Arah Cahaya Matahari

Perubah arah cahaya matahari atau sunlight-redirecting device, mempunyai pola geometris yang sama dengan sistem pembayang. Perubah arah seharusnya diorientasikan untuk menerima iluminansi maksimal dan untuk mengarahkan cahaya menuju area tertentu dalam ruang (Clarke, dkk., 1999). Device tersebut hanya terbatas penggunaannya pada kondisi *overcast sky*. Perubah arah ini juga dapat berfungsi sebagai sistem pembayang. Perubah arah seharusnya merupakan permukaan berefleksi tinggi dan memiliki permukaan yang mengkilap. Desain dari perubah arah ini sering kontradiktif antara pengoptimalan distribusi cahaya dan penghilangan efek negatif



Adanya efek negatif dari penggunaan sistem pencahayaan langsung tersebut, maka perlu dikaji lebih dalam mengenai sistem pencahayaan alami tidak langsung. Dalam sistem pencahayaan alami tidak langsung, pemantulan cahaya matahari sebelum masuk ke dalam ruangan dapat melalui bermacam-macam diantaranya lantai, plafond, bidang kerja, pengguna ruangan, serta elemen-elemen arsitektur lainnya. Dalam penelitian ini hanya akan dibahas mengenai salah satu elemen arsitektur yaitu bidang pemantul.

Bidang pemantul adalah sebuah panel berbahan reflektif²⁰ yang diletakkan dengan komposisi dan bentuk tertentu yang diatur menyesuaikan dengan pergerakan matahari untuk memantulkan sinar matahari tersebut ke dalam ruangan²¹. Pada umumnya pemasukkan cahaya alami menggunakan bidang pemantul ini adalah melalui bukaan-bukaan pada dinding ruangan. Karena itulah bidang pemantul ini biasanya terletak menempel pada bukaan tersebut. Peletakkannya pada bukaan ruangan menjadi salah satu elemen fasade bangunan.

Pada pencahayaan alami tidak langsung, pencahayaan yang diinginkan disini adalah pencahayaan *diffusi*²². Disinilah bidang pemantul berperan. Setelah cahaya matahari mengenai bidang pemantul, maka akan diteruskan ke berbagai bidang lainnya sebelum diterima oleh mata. Dengan pencahayaan difusi, cahaya yang masuk ke dalam ruang dapat terdistribusi secara merata, sehingga tingkat pencahayaan di setiap titik dalam ruangan memiliki nilai yang hampir sama. Namun karena cahaya matahari terpantulkan beberapa kali, tingkat pencahayaan yang dihasilkan pada umumnya menurun. Karena itulah komposisi dan bentuk bidang pemantul harus disesuaikan dengan pergerakan matahari.

2.6.1. Strategi Perubah Arah Cahaya Matahari

Strategi yang dapat diaplikasikan dalam pencahayaan alami tidak langsung terdiri dari dua sistem (Tim Dosen MIT Open Course Ware, 2006):

1. *Daylighting system with shading*

Sistem ini menggunakan shading atau pembayang sebagai elemen pemantul cahaya matahari. Selain itu, shading juga menghindarkan masuknya sinar matahari

²⁰ Bahan reflektif disini adalah material yang mampu memantulkan cahaya, bisa hanya berupa cat, ataupun keseluruhan material. (menurut Y.B. Mangunwijaya dalam Fisika Bangunan. 1980)

²¹ Asumsi penulis. 2007

²² Difusi adalah refleksi dari cahaya dari sebuah permukaan yang tak beraturan atau kasar dimana sinar yang terpantulkan terefleksikan dalam beberapa sudut. Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_reflection



secara langsung ke dalam bangunan. Terdapat dua tipe dari *daylighting system with shading* ini:

- a. Sistem yang menggunakan *diffuse skylight* dan menolak *direct sunlight*
Sistem ini terdiri dari: *Prismatic Panel, Prisms and Vertical Blinds, Sun Protecting Mirror Element, Anidolic Zenithal Opening, Directional Selective Shading with HOE (Holographic Optical Elements), Transparent Shading System with HOE*
- b. Sistem yang menggunakan *direct sunlight*, kemudian mengirimkannya ke plafond atau ke area diatas ketinggian mata manusia.
Sistem ini terdiri dari: *Light-guiding Shade, Louvers and Blinds, Light Shelves for Redirection of Sunlight, Glazing with reflecting profiles, Skylight with laser cut panels, Turntables lamellas, Anidolic Solar Blinds*

2. *Daylighting system without shading*

Didesain untuk fungsi utama merubah arah cahaya matahari menuju area yang lebih dalam dari bukaan jendela dan skylight.

4 Kategori dari sistem ini adalah²³:

- a. **Diffuse Light-Guiding Systems**
Merubah arah cahaya matahari dari area langit menuju ruangan. Sistem ini terdiri dari: *Light Shelves for Redirection of Sunlight, Anidolic Integrated System, Anidolic Ceilling, Fish System, Zenith Light Guiding Elements with HOE, Laser Cut Panels, Prismatic Panels*
- b. **Direct Light-Guiding Systems**
Memasukkan cahaya matahari langsung ke dalam ruangan tanpa ada efek samping dari *glare* dan radiasi panas. Terdiri dari *HOE in the skylight* dan *Sundirecting Glass*
- c. **Light-Scattering or Diffusing Systems**
Digunakan pada *skylit* atau *toplit* (pencahayaan atap) untuk menghasilkan distribusi yang merata
- d. **Light Transport Systems**
Mengumpulkan dan mentransmisikan cahaya matahari sepanjang jarak tertentu menuju bagian dalam bangunan melalui serat fiber-optics atau *light pipe*. Sistem ini terdiri dari: *Helisotat, Light Pipe, Solar Tube, Fibres, Light-guiding Ceiling*

²³ Menurut tim dosen MIT Open Course Ware, Massachusetts Institute of Technology dalam artikel *Daylight as a Design Factor*. 2006



Penentuan *light shelves* didasarkan atas kemungkinan penggunaan *light shelves* di semua jenis iklim, termasuk iklim tropis. Selain hal tersebut, mulai dari proses perancangan, penggunaan, sampai perawatan, *light shelves* tidak memerlukan teknologi tinggi, meskipun tidak menutup kemungkinan penggunaan *light shelves* dikombinasikan dengan sistem lain untuk meningkatkan performa pencahayaan. *Light shelves* juga dapat menjadi elemen pembayang yang efektif tanpa harus memasukkan radiasi panas ke dalam bangunan.

2.6.2. Bidang Pemantul (Light Shelves)

Light shelves adalah pembayang horizontal dan redirecting device. *Light shelves* meningkatkan uniformity dari cahaya alami di ruang dengan mengurangi tingkat iluminansi didekat jendela dan mengarahkan cahaya ke dalam ruangan (Egan, 2002, dan Andersen, 2006). Sebuah *light shelves* secara efektif membuat dua bukaan pada jendela, yaitu bukaan atas (*boven licht*) untuk pencahayaan utama, dan bukaan bawah untuk pemandangan. Untuk distribusi pencahayaan yang baik, *light shelves* seharusnya dialokasikan serendah mungkin tanpa harus menimbulkan efek negative, secara umum diatas tingg mata. Secara lebih umum, tingginya sekitar 2.1 meter, dimana dapat disejajarkan dengan tinggi pintu atau elemen arsitektural lainnya. Untuk meningkatkan efektivitasnya dapat dilakukan dengan peninggian plafond.

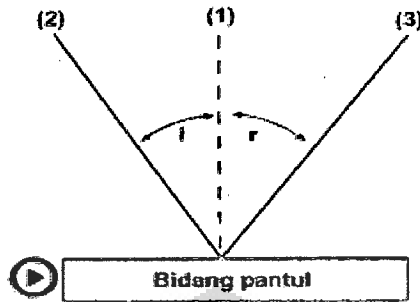
Aspek terbesar yang sangat berpengaruh dalam perancangan *light shelves* adalah pemantulan. Karenanya material dari *light shelves* haruslah material yang memiliki tingkat reflektansi baik. Namun karena membutuhkan reflektansi yang baik inilah, seperti yang telah dibicarakan diatas, *light shelves* harus mempertimbangkan efek negatif *glare* akibat pemantulan ini.

Pemantulan Cahaya

Gejala yang muncul akibat cahaya mengenai suatu benda adalah pemantulan; sifat pantulan ini bergantung pada sifat permukaan benda. Dikenal ada 2 jenis pantulan yakni pemantulan biasa dan pemantulan baur. Untuk benda berpermukaan datar, berlaku *Hukum Pemantulan Snellius*. Hukum ini menyatakan bahwa cahaya datang dan cahaya pantul terletak pada satu bidang datar dengan membentuk sudut sama besar terhadap garis normal permukaan pantul. Pengukuran sudut datang dan sudut pantul dimulai dari garis ini.



Sudut datang (i) adalah sudut yang dibentuk oleh garis normal (1) dan sinar datang (2), sedangkan sudut pantul (r) adalah sudut yang dibentuk oleh garis normal (1) dan sinar pantul (3).



Gambar 2.16: Pemantulan cahaya: Sudut datang(i) sama dengan sudut pantul(r).
(Sumber: mysimplebiz.info/tutorial/data/fisika1.doc)

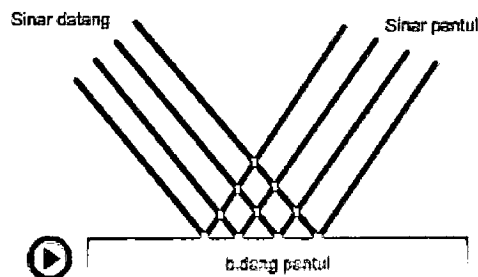
Menurut Henderson (2007), berdasarkan hal diatas, sinar yang membentur permukaan dengan sudut yang berbeda, akan tetap merefleksikan sesuai dengan hukum pemantulan



Gambar 2.17: Hukum Pemantulan Selalu Berlaku pada Semua Sudut
(Sumber: Tom Henderson, *The Physics Classroom Tutorial*, 2007)

A. Pemantulan Biasa

Pada permukaan benda yang rata seperti cermin datar, cahaya dipantulkan membentuk suatu pola yang teratur. Sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan cermin dipantulkan sebagai sinar-sinar sejajar pula.

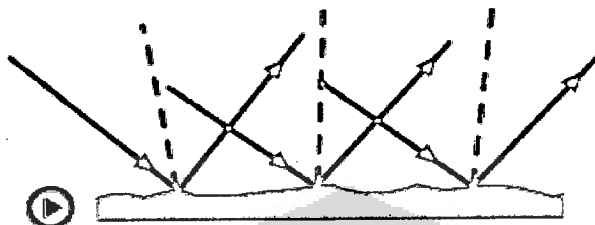


Gambar 2.18: Pemantulan biasa pada cermin membentuk bayangan benda
(Sumber: mysimplebiz.info/tutorial/data/fisika1.doc)



B. Pemantulan Baur

Berbeda dengan benda yang memiliki permukaan rata, pada saat cahaya mengenai suatu permukaan yang tidak rata, maka sinar-sinar sejajar yang datang pada permukaan tersebut dipantulkan tidak sebagai sinar-sinar sejajar.



Gambar 2.19: Pemantulan baur pada permukaan bidang yang tidak rata
(Sumber: mysimplebiz.info/tutorial/data/fisika1.doc)

Akibat pemantulan baur (gambar 2.21) ini kita dapat melihat benda dari berbagai arah. Misalnya pada kain atau kertas yang disinari lampu sorot di dalam ruang gelap kita dapat melihat apa yang ada pada kain atau kertas tersebut dari berbagai arah. Pemantulan baur yang dilakukan oleh partikel-partikel debu di udara yang berperan dalam mengurangi kesilauan sinar matahari.

C. Energi Pemantulan Cahaya

Setiap gelombang, termasuk cahaya, memiliki energi pemancaran. Energi ini akan berkurang seiring dengan jarak dan perlakuan terhadap gelombang tersebut. Menurut Liliana (2003) Setiap kali memantul atau membias maka energinya berkurang dengan mengalikan nilai energi dengan koefisien transparansi dan pemantulannya²⁴. Penggunaan material dengan tingkat reflektansi tertentu mampu mempengaruhi besar kecilnya energi yang terbuang. Sinar hasil pantulan dan biasan dipancarkan ke obyek lainnya terus-menerus sampai energinya kecil.

Menurut Spencer 1993²⁵, energi yang menghilang itu dinyatakan dalam *Radiosity* dari sebuah permukaan material adalah nilai energi yang meninggalkan permukaan (energi per unit waktu per unit luasan). Termasuk energi yang

²⁴ Liliana, dalam *Pemodelan Pemantulan dan Pembiasan Cahaya oleh Obyek Mengkilap dan Obyek Transparan dengan Menggunakan Ray Tracing*, Jurnal Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, 2003.

²⁵ Stephen Spencer, dalam *Examining Radiosity*, jurnal SIGGRAPH. 1993



dipancarkan oleh permukaan itu sendiri sebaik energi yang terpantulkan oleh material lain.

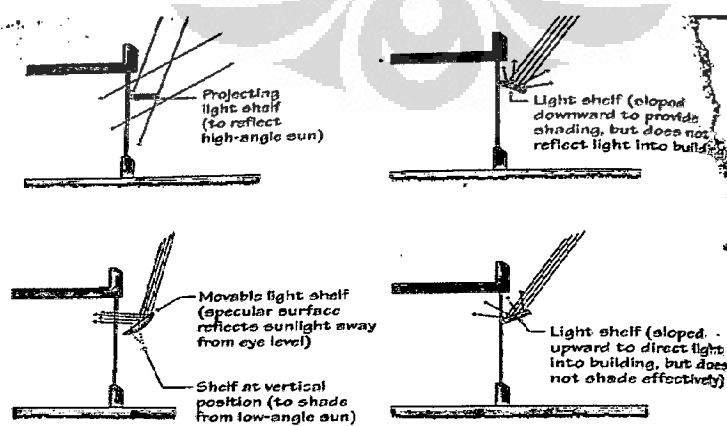
Untuk pemantulan cahaya matahari ke dalam ruangan, dimana elemen-elemen pemantul bukanlah cermin sempurna, perlu diperhatikan agar tidak terjadi pemantulan berkali-kali yang dapat menyebabkan energinya habis.

2.7. Desain Light shelves

Untuk efektifnya, kedalaman minimum dari *light shelf* ditentukan oleh kebutuhan pembayangan. Untuk mencegah kondisi *glare*, cahaya langsung dari jendela atas seharusnya tidak masuk melalui ujung dari *light shelf*. Uniformity dari distribusi cahaya dapat ditingkatkan dengan memperpanjang kedalaman dari *light shelf*.

Light shelf seharusnya dapat menyalurkan cahaya matahari secara penuh ketika cahaya dibutuhkan (Egan, 2002, dan Andersen, 2006). Memproyeksikan *light shelves* juga menyediakan shading untuk jendela bawah. Secara tipikal, *light shelves* adalah datar. Memiringkan ke arah bawah luar membuat *light shelf* lebih efisien sebagai sistem pembayang, tetapi tidak efisien dalam pendistribusian cahaya. Memiringkan *light shelves* ke arah dalam ruangan adalah kebalikannya; baik untuk distribusi cahaya, namun kurang efisien untuk sistem pembayang.

Teknik mengkombinasikan kedua fitur tersebut adalah *light shelf* datar dengan bagian sisi yang dimiringkan ke dalam. Ini berefek mendorong sudut tinggi sinar matahari untuk masuk lebih dalam ke ruangan. Fitur ini bisa sangat menguntungkan, karena *light shelves* lebih berguna pada saat sudut tinggi dibandingkan ketika sudut rendah.



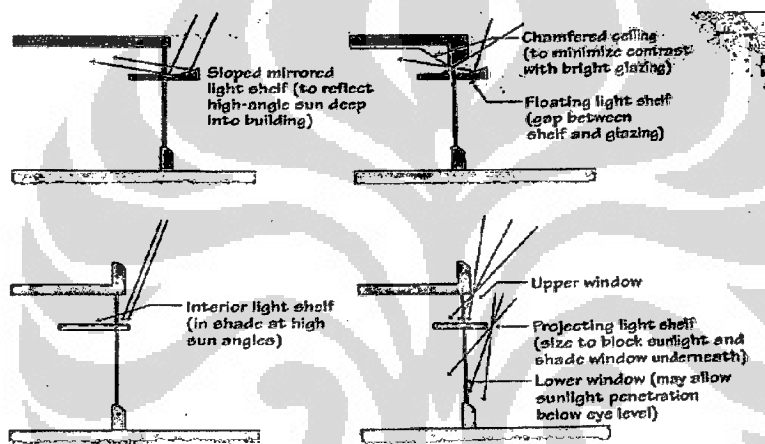
Gambar 2.20: Light Shelves pada Eksterior Bangunan
(Sumber: Architectural Lighting, M. David Egan, 2002)



Prinsip dasar dari *light shelves* adalah memantulkan cahaya yang berasal dari cahaya alami ke dalam bangunan. Selain itu *light shelves* dapat juga berfungsi sebagai shading device. Dengan semakin besarnya pembayangan, bukan berarti menurunkan kualitas pencahayaan, justru apabila ruangan tidak di-shading-kan akan menurunkan distribusi pencahayaan.

2.7.1. Interior Surface

Interior surface berfungsi menghantarkan sinar dari ekterior surface lebih masuk ke dalam ruangan. Memasukkan sebagian *light shelves* ke dalam ruangan bukan berarti menurunkan distribusi di sekitar jendela, tetapi bisa menjadi media refleksi cahaya sebelum jatuh ke bidang kerja.



Gambar 2.21: Light Shelves pada Interior Bangunan
(Sumber: *Architectural Lighting*, M. David Egan, 2002)

2.7.2. Material

Sebagai pemantul cahaya, sudah tentu *light shelves* harus menggunakan material yang dapat memantulkan cahaya (Egan, 2002). Namun, pemantulan disini bukan pemantulan yang sempurna. Pemantulan sempurna hanya akan membuat plafond yang menjadi arah cahaya pantul akan sangat terang. Ini dapat mengakibatkan *glare*. Untuk itu, material yang digunakan (terutama pada bagian yang memantulkan dari *light shelves*) sebaiknya bukan cermin atau material memantulkan dengan permukaan halus (nilai *roughness*-nya nol). Material memantulkan dengan permukaan kasar (terdapat nilai *roughness*-nya) dapat memantulkan cahaya secara difusi.



Tabel 2.2: Tingkat Reflektansi Material Relux Professional 2007

No.	Material	Total		
		Reflectivity (Rho - %)	Specularity	Roughness
1	Mirror Silver	90	1	0,00
2	Stainless Steel	80	1	0.045
3	Cat Putih (Doff)	80	0,00	0,051
4	Cat Putih (Glossy)	80	0,005	0,00
5	Perforated Plate	73,5	-	-
6	Zinc	70	-	-
7	Porcellen Putih	70	0,05	0,00
8	Cooper Polished	69	0,522	0,011
9	Chrome Steel	65	0,98	0,00
10	Aluminium	60	0,362	0,178
11	Marmar Putih	54,6	-	-
12	Concrete (unfinished)	41	-	-
13	Cooper Crude	32,8	0,195	0,074

(Sumber: Relux Professional 2007)

Berdasarkan tabel diatas, nilai kemengkilapan (*specularity*) tidak bisa menjadi dasar apakah material tersebut dapat memantulkan cahaya atau tidak. Contohnya adalah *chroma steel* atau besi krom yang memiliki nilai *specularity* 0,98 tetapi nilai *rho*-nya hanya 65%.

2.8. Kriteria Perhitungan Pencahayaan Alami

Metode perhitungan yang dianjurkan dan diolah oleh suatu panitia khusus dari Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Departemen Pekerjaan Umum, 1970 adalah berdasarkan besaran yang disebut sebagai faktor langit sebagai penunjuk kualitas penerangan minimal dalam ruangan (Mangunwijaya, 1980).

Faktor pencahayaan alami siang hari 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. Faktor pencahayaan alami siang hari terdiri dari 3 komponen meliputi :

1. Komponen langit (faktor langit-fl)
2. Komponen refleksi luar (faktor refleksi luar - frl)
3. Komponen refleksi dalam (faktor refleksi dalam - frd)

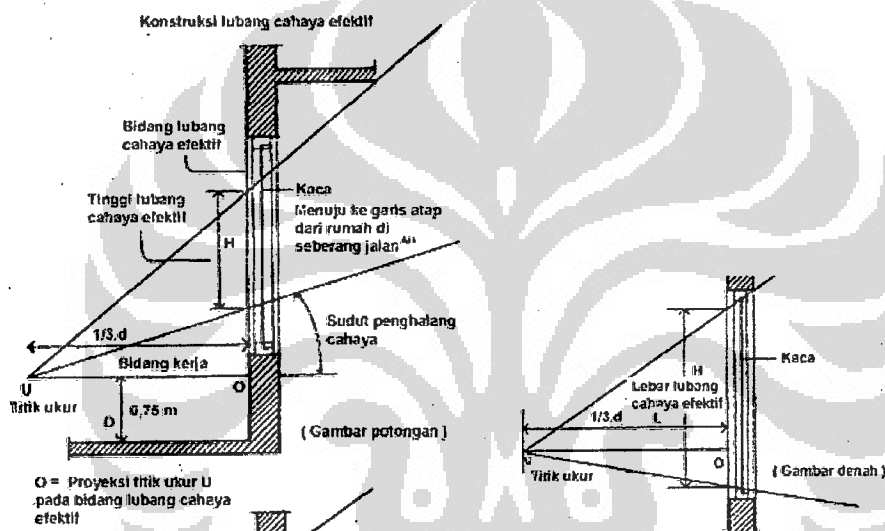


2.8.1. Faktor Langit

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.

2.8.2. Titik Ukur

Titik ukur adalah titik di dalam ruangan, yang keadaan penerangannya dipilih sebagai indikator untuk keadaan penerangan seluruh ruangan. Titik ukur diambil pada suatu bidang datar yang letaknya pada tinggi 0,75 meter di atas lantai. Bidang datar tersebut disebut bidang kerja.



Gambar 2.22: Tinggi dan Lebar Cahaya Efektif

(Sumber: RSNI 03-2396-2001, Departemen Pekerjaan Umum, 2001)

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.

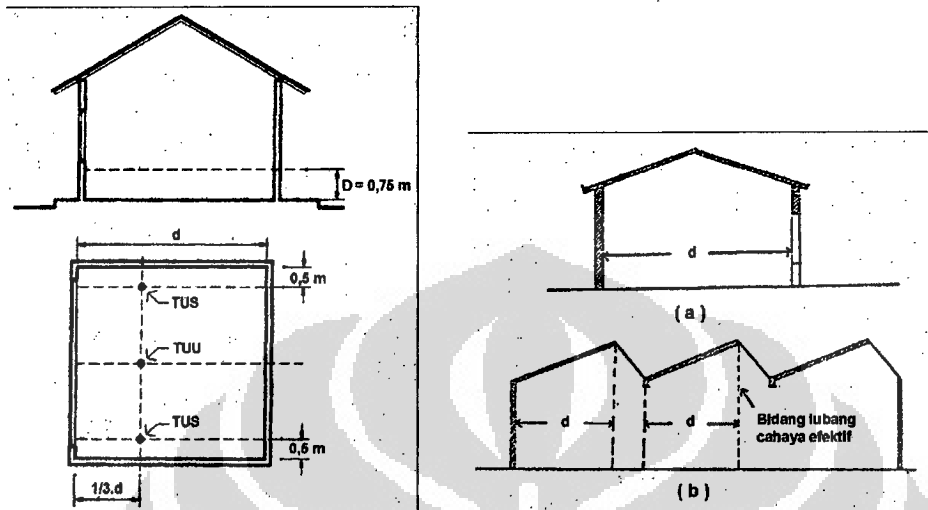
Dalam perhitungan digunakan dua jenis titik ukur :

1. titik ukur utama (TUU), diambil pada tengah-tengah antar kedua dinding samping, yang berada pada jarak $1/3 d$ dari bidang lubang cahaya efektif.
2. 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.

Pada gambar 2.30 terlihat penempatan titik ukur pada ruangan dalam potongan ruangan dan denah



Gambar 2.23: Penjelasan mengenai jarak d pada titik ukur

(Sumber: RSNi 03-2396-2001, Departemen Pekerjaan Umum, 2001)

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

2.9. Kesimpulan Kajian Pustaka

Perancangan sebuah ruang tidak lepas dari persepsi pengguna terhadap ruang. Dalam hal ini, adalah persepsi siswa terhadap ruang kelas. Khusus mengenai perancangan bentuk, persepsi yang berkaitan adalah persepsi bentuk. Apa yang dikatakan oleh Piaget Jean, tentang persepsi tersebut nampaknya tak lepas dari pengaruh persepsi tersebut terhadap kemampuan belajar siswa. Ini karena, siswa belajar, bekerja, dan beraktivitas di dalam ruangan kelas tersebut.

Persepsi ini pula yang mendasarkan pendapat Satwiko (2005) mengenai persepsi akan cahaya dari pengguna ruang digunakan sebagai dasar penentuan kenyamanan visual. Namun, pendapat ini cenderung menyamaratakan tingkat kenyamanan visual semua manusia. Pada dasarnya fisik cahaya yang masuk serta alat penerima cahaya tersebut adalah sama (meskipun ada beberapa pengecualian



pada beberapa orang) yang membedakannya adalah persepsi yang diterima otak sebagai respon.

Menurut Medien (2004), perbedaan persepsi tersebut bisa diantisipasi oleh menentukan kebutuhan minimum sebuah objek ditangkap organ penglihatan. Kebutuhan minimum inilah yang menjadi dasar penentuan tingkat iluminansi pada sebuah ruang dalam hal ini khususnya ruang kelas.

Perbedaan persepsi nampaknya justru terjadi akibat perbedaan usia. Dalam hal ini pendapat Cutzu dan Edelman (1996) mengenai pembagian kemampuan melihat seseorang dapat menguatkan pentingnya membagi penentuan tingkat kenyamanan visual berdasarkan usia, sesuatu yang tidak tersirat dalam teori yang diungkapkan Satwiko dan Medien. Namun, Cutzu dan Edelman hanya menjelaskan mengenai puncak kemampuan melihat ini. Cutzu dan Edelman sendiri tidak menjelaskan pada tahapan umur berapa, kemampuan melihat mulai banyak menerima informasi dari luar.

Menurut standar usia sekolah dasar (Depdiknas, 1997), adalah usia 7-12 tahun, berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa rentan usia seseorang mengalami perkembangan dengan masuknya informasi dari luar keluarga adalah pada rentan school age.

Penentuan standar intensitas cahaya, terutama di Indonesia oleh LPMB, Hermawan (2005), dan RSNI (2001) cenderung didasarkan atas pendapat yang dikemukakan oleh Satwiko dan Medien. Tidak berdasarkan kemampuan melihat. Namun, penulis tetap beranggapan bahwa standar yang dikemukakan oleh LPMB, Hermawan (2005), serta RSNI (2001) tepat digunakan untuk rentan 250-300 lux untuk bidang kerja dan 400-500 lux pada bidang papan tulis. Nilai yang menjadi patokan pun adalah nilai yang terbaik (semakin tinggi) dari rentan tersebut.

Teori mengenai standar intensitas pencahayaan ini harus dikombinasikan dengan teori uniformity oleh Assaf (1997), dimana tiap titik pada ruangan harus memiliki rentan tingkat intensitas yang sama, guna meminimalkan efek negatif yaitu *glare* (RSNI, 2001). *Glare* itu sendiri bukannya tidak diperkenankan dalam perancangan pencahayaan. Menurut CIBSE, 1985, nilai indeks *glare* yang diperbolehkan dalam ruang kelas adalah 19.

Pemasukkan cahaya alami ke dalam bangunan tak lepas dari beberapa sumber cahaya. Sumber cahaya menurut Egan, 2002, adalah sesuatu yang menunjang teori aspek lingkungan oleh Mangunwijaya (1980). Kata sumber cahaya disini lebih kepada dari mana cahaya itu berasal, sedangkan sumbernya tetap cahaya matahari.



Berdasarkan kedua teori ini, perancangan dan perhitungan masuknya cahaya ke dalam ruangan harus mempertimbangkan aspek cahaya difusi awan, cahaya langsung, dan cahaya reflektansi luar bangunan.

Namun, dalam teori reflektansi dari luar bangunan tidak dijelaskan berapa jarak antara ruangan dengan bangunan di luar ruangan atau benda lain yang mampu merefleksikan cahaya diluar bangunan yang mampu merefleksikan cahaya ke dalam ruangan. Ini berkaitan dengan energi yang berkurang akibat pantulan berkali-kali (Liliana, 2003). Teori Spencer ini juga menjadi dasar penentuan jarak dalam pemantulan oleh *light shelves*. Semakin berkas sinar banyak memantul, energinya semakin mengecil. Namun tidak dijelaskan dengan kuat cahaya matahari, berapa kali pemantulan yang diizinkan sampai cahaya matahari masuk ke dalam ruangan dengan intensitas tertentu seperti yang telah dibicarakan diatas.

Orientasi dari lubang cahaya menentukan seberapa meratanya cahaya yang masuk ke dalam ruangan. Menurut Leslie, 2004, orientasi bukaan yang terbaik untuk pemasukkan cahaya adalah utara-selatan. Ini dimaksudkan karena orientasi barat-timur untuk bangunan tropis akan memasukan cahaya secara berlebihan pada waktu pagi atau sore. Begitu pula dengan pembayangan yang ditimbulkan akan mengganggu konsentrasi siswa. Hal ini juga berlaku di Negara non-tropis, meskipun usaha pemasukkan cahaya pada satu sisi di musim tertentu diharuskan dengan alas an penghangatan ruangan.

Proses pemasukkan cahaya matahari ke dalam bangunan amat mengandalkan bukaan pada dinding fasade beserta aspek-aspeknya (Egan, 2002, dan Tim Dosen MIT, 2006). Semakin dekat lubang bukaan dengan luar bangunan tanpa ada pembayangan, usaha pemasukkan cahaya semakin baik. Ini kontradiktif dengan usaha pembayangan bangunan di daerah tropis (Mangunwijaya, 1980). Meskipun demikian Egan (2002) menguraikan berbagai macam jenis pembayang yang digunakan sebagai dasar perletakkan bidang pemantul. Dalam teorinya, Egan (2002) juga mengungkapkan bahwa pada daerah tropis, elemen pemantul dapat digunakan sebagai pembayang, dengan komposisi dan bentuk tertentu.

Kontradiktifnya aspek diatas justru dapat dimanfaatkan baik oleh bidang pemantul. Selain menjadi elemen pembayang, juga sesuai fungsinya sebagai device untuk perubah arah cahaya matahari ke dalam bangunan. Cahaya yang masuk ke dalam bangunan oleh *light shelves* cenderung diarahkan menuju plafond atau area diatas mata pengguna ruang. Ini untuk menghindarkan terjadinya *glare* (Egan, 2002).



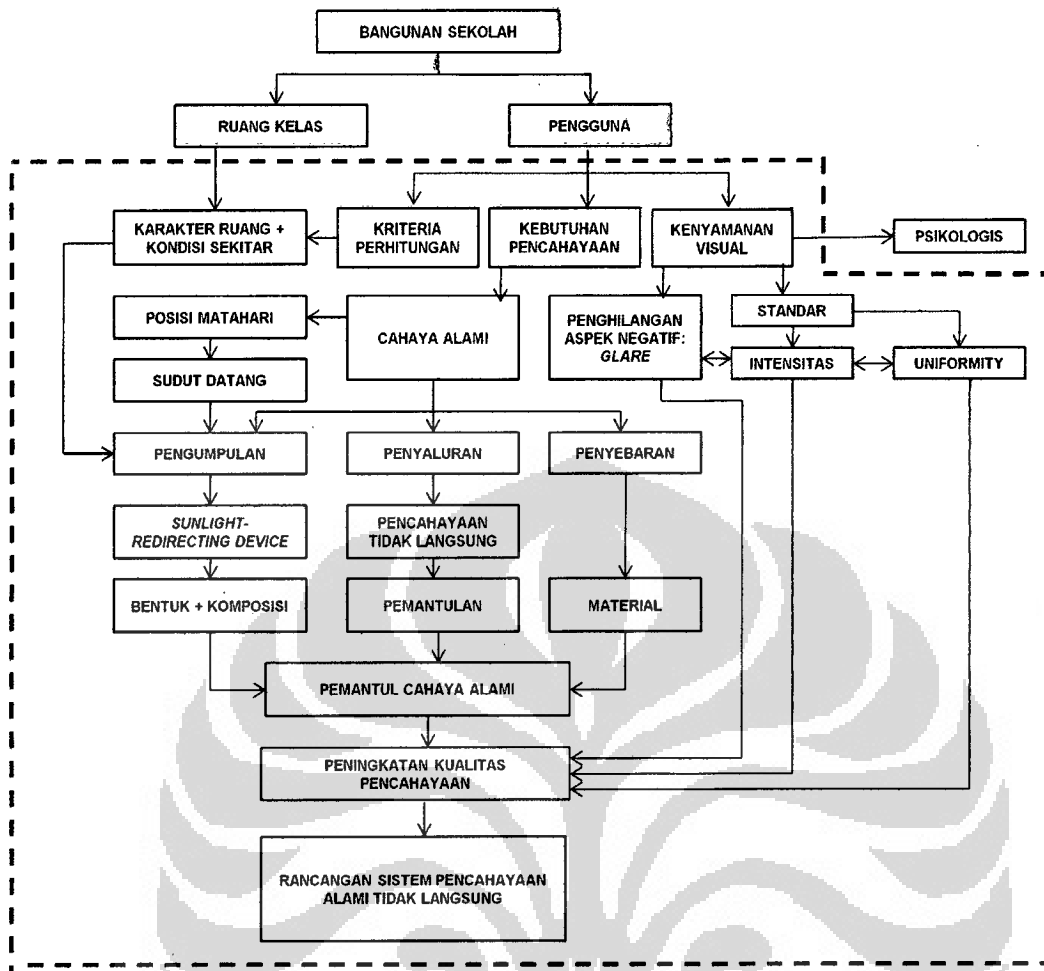
Semakin banyak cahaya yang dipantulkan ke plafond, pemerataan (uniformity) cahaya semakin baik. Namun, efeknya adalah, intensitas yang dihasilkan tidak setinggi pemasukkan cahaya secara langsung.

Kondisi tersebut berbalik dengan kondisi penggunaan *light shelves* pada koridor, Menurut Egan (2002), penggunaan pada kolom koridor, akan mengakibatkan cahaya terpantulkan berulang-ulang sebelum masuk ke dalam ruangan. Namun hal ini bisa diantisipasi dengan sedikit memberikan sudut pada *light shelves*, sehingga cahaya terpantulkan langsung menuju plafond ruangan, bukan plafond koridor.

Selain itu, aspek kebersihan ruang juga menjadi patokan perhitungan intensitas pencahayaan. Menurut USEPA, 1995, penumpukan debu pada material ruangan akan mengurangi daya reflektansi, yang pada akhirnya mempengaruhi distribusi cahaya dalam ruangan. Distribusi ini menurut Egan (2002), menjadi faktor yang penting setelah cahaya masuk ke dalam ruangan guna memenuhi faktor uniformity.

Kondisi kebersihan ruangan ini juga menjadi faktor penting dalam perhitungan ruangan (Mangunwijaya, 1980). Karena itulah perhitungan dilapangan jika dibandingkan dengan simulasi akan sedikit berbeda, kecuali jika pada tahap simulasi, aspek kebersihan ruangan dapat dimasukkan sebagai data.

Menurut Mangunwijaya (1980), yang terpenting dalam pengukuran lapangan adalah penentuan faktor langit, faktor bukaan sebagai awal masuknya cahaya, serta penentuan titik ukur. Penentuan titik ukur dalam hal ini yang terpenting adalah mengetahui intensitas pada titik tengah ruangan, namun disesuaikan terlebih dahulu dengan kondisi eksisting ruangan. Tidak mungkin mengukur ruangan dengan lebar 20 meter hanya pada garis tengah ruangnya saja, karena hal inilah, Mangunwijaya, membagi lagi berapa jarak ideal dari lubang bukaan.



Gambar 2.24: Kerangka Teori

Keterangan Gambar:

- Hubungan satu arah
- ↔ Saling berhubungan (dua arah)
- - - Batasan Penelitian

Kerangka teori (gambar 2.32) merupakan rangkuman dari kajian teori yang telah dilakukan sebelumnya. Dari kerangka teori diatas, ada empat teori yang akan menjadi landasan bagi metode penelitian:

1. Teori penyaluran cahaya: pengarahan sinar pantul menuju plafond

Clarke (1999) : Perubah arah seharusnya diorientasikan untuk menerima iluminansi maksimal dan untuk mengarahkan cahaya menuju area tertentu dalam ruang

Egan (2002) : *Light shelves* meningkatkan uniformity dari cahaya alami di ruang dengan mengurangi tingkat iluminansi didekat jendela dan mengarahkan cahaya kedalam ruangan



2. Teori kenyamanan visual: intensitas dan *uniformity* cahaya ruangan

Meiden (2004) : kebutuhan minimum yang dibutuhkan mata untuk mencapai kenyamanan adalah minimum luminance, minimum kontras, minimum ukuran, minimum waktu

3. Teori pengumpulan cahaya: orientas bangunan kelas utara-selatan

Leslie (2004) : Cahaya alami sangat erat kaitannya dengan masalah orientasi, dimana orientasi arah utara – selatan merupakan orientasi terbaik untuk pencahayaan alami

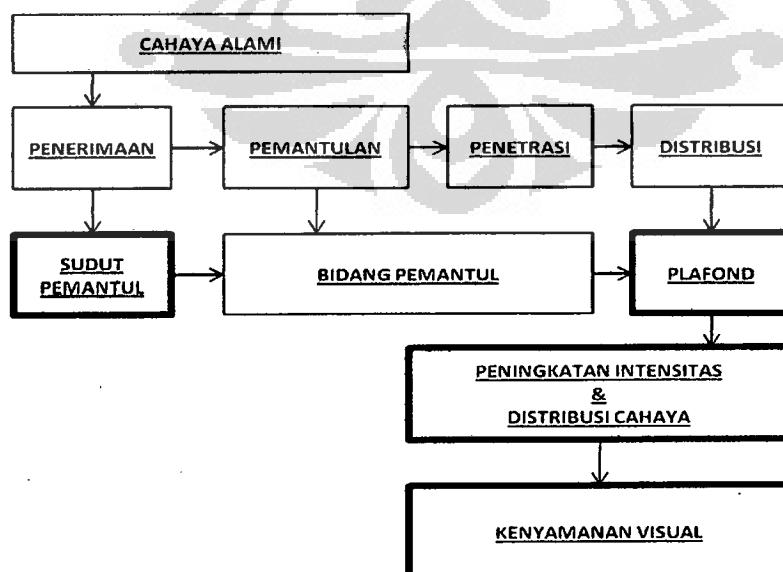
4. Teori bentuk dan komposisi: penggunaan sudut $0^{\circ} - 45^{\circ}$ pada bidang pemantul

Christiane (2005) : sudut pemantul terbaik yaitu 35° , pada rentang yang terbaik yaitu 0° , serta $30^{\circ} - 45^{\circ}$. Pada sudut-sudut ini, pemantul mampu meningkatkan kualitas pencahayaan ruang

Dari keempat teori diatas, maka dapat diinterpretasikan bahwa: Dengan penggunaan sudut tersebut diatas, maka sinar pantul dapat diarahkan dengan baik menuju plafond. Akibatnya adalah peningkatan intensitas dan distribusi cahaya dalam ruangan, yang pada akhirnya akan meningkatkan kualitas kenyamanan ruang kelas baik ruang kelas utara maupun selatan.

2.10. Kerangka Pikiran dan Hipotesis

Berdasarkan kajian pustaka, dapat disimpulkan dalam kerangka pemikiran sebagai berikut:

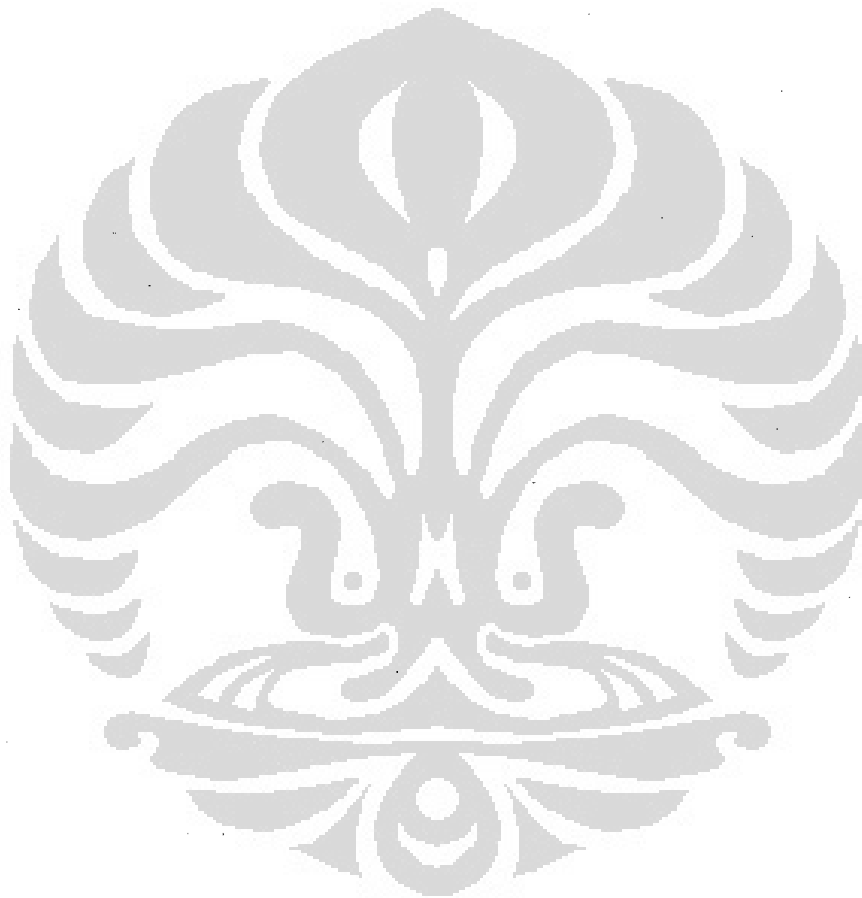


Gambar 2.25: Kerangka Pemikiran



Dengan demikian hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut:

Jika sinar pantul dari bidang pemantul diarahkan ke plafond ruangan maka bidang pemantul akan efektif meningkatkan intensitas dan distribusi cahaya ruang kelas sehingga tercapai kenyamanan visual, baik ruang kelas utara maupun selatan). Sinar pantul akan efektif mencapai plafond apabila sudut 0° sampai dengan 45° digunakan bidang pemantul yang diletakkan pada tepi bukaan



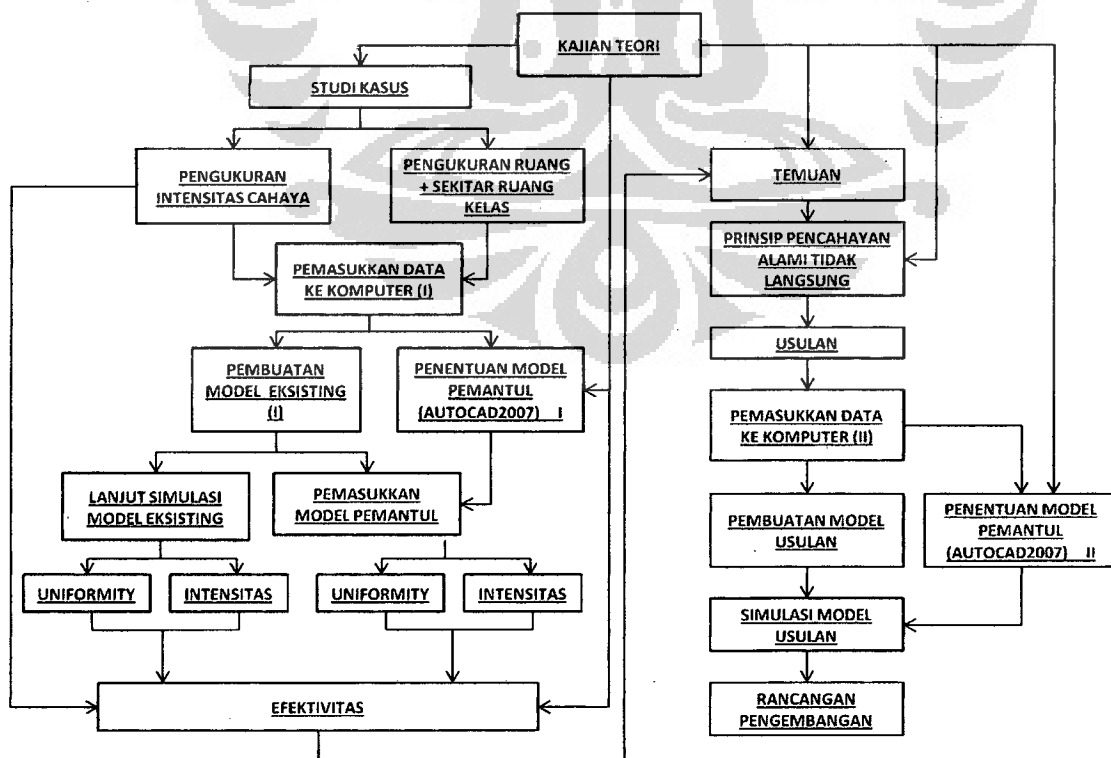


BAB III METODE PENELITIAN

1.1. Proses Penelitian

Dari survey lapangan didapat karakter dan desain ruang, faktor eksternal, koordinat, dan intensitas cahaya dari ruang kelas eksisting. Ketiga faktor pertama akan menunjang simulasi bidang pemantul selain hasil kajian pustaka. Sementara intensitas cahaya ruang kelas eksisting akan dibandingkan dengan hasil simulasi bidang pemantul yang berupa intensitas dan distribusi cahaya. Dari perbandingan ini akan diketahui apakah bidang pemantul yang disimulasikan efektif atau tidak dalam merubah kondisi tingkat pencahayaan pada ruang kelas studi kasus.

Setelah diketahui hasil perbandingan, model eksisting dengan pemantul terpilih akan dievaluasi beberapa temuan dari hasil simulasi dan kondisi eksisting terhadap prinsip-prinsip pencahayaan alami tidak langsung untuk kemudian diusulkan beberapa pengembangan terhadap ruang kelas sekolah dasar di Kota Depok. Usulan pengembangan ini akan disimulasikan kembali untuk mendapatkan bidang pemantul yang paling efektif mencapai kenyamanan visual setelah dibandingkan dengan hasil simulasi pertama.



Gambar 3.1: Kerangka Penelitian



3.2. Penentuan Studi Kasus

- a. Lokasi penelitian adalah Kota Depok dengan koordinat diantara $6^{\circ}19'00''$ - $6^{\circ}28'00''$ Lintang Selatan dan $106^{\circ}43'00''$ - $106^{\circ}55'30''$ Bujur Timur, bergantung kembali dengan posisi ruang kelas tersebut. Ini diperlukan untuk menghitung sudut sinar matahari yang selalu berubah.
- b. Kota Depok dipilih sebagai wilayah studi kasus karena Depok berkembang pesat sejak dimekarkan dari Kabupaten Bogor per tahun 2000. Sejak tahun tersebut penduduk Depok meningkat dari 1,1 juta jiwa menjadi 1,47 juta jiwa pada tahun 2007 (28.6%)²⁶. Sementara pertumbuhan penduduk usia 7-12 tahun juga mengalami peningkatan. Hal ini tidak ditunjang dengan jumlah sekolah dasar di Depok pada tahun 2007 yang hanya 264 sekolah²⁷. Sementara jumlah siswa ideal per sekolah adalah 240²⁸. Ini berarti jumlah sekolah dasar yang sesuai pada tahun 2007 adalah 425 sekolah. Jumlah 264 sekolah adalah separuh lebih dari angka yang diharuskan.

Tabel 3.1: Jumlah Penduduk Depok Total & Usia 7-12 tahun, tahun 2000-2007

Tahun	Jumlah Penduduk Total (ribu)	Jumlah Penduduk Usia 7-12 Tahun (ribu)
2000	1.143,4	80,03
2001	1.204,7	84,32
2002	1.247,2	87,30
2003	1.289,3	90,25
2004	1.331,6	93,21
2005	1.374,5	96,26
2006	1.420,5	99,44
2007	1.470,2	102,91

(sumber: BPS Jawa Barat. 2007)

Tabel diatas mengindikasikan perkembangan jumlah penduduk Kota Depok semenjak, Kota Depok dimekarkan menjadi Kotamadya. Terutama dalam hal ini adalah pertumbuhan dari penduduk usia 7-12 tahun, yang merupakan usia siswa sekolah dasar.

²⁶ Sumber BPS Jawa Barat. 2007

²⁷ Sumber BPS Jawa Barat. 2007

²⁸ Sumber Depdiknas. 2007



c. Dari 264 Sekolah Dasar (negeri dan swasta) yang terdapat pada Daftar Sekolah Dasar Kota Depok²⁹ terdapat 98 Sekolah yang dapat diverifikasi keberadaannya³⁰. Berdasarkan pengamatan lapangan, mayoritas bangunan Sekolah Dasar menggunakan desain yang hampir sama:

5. Menggunakan *single loaded corridor*
6. Bangunan satu lantai
7. Warna interior: warna cerah (putih, *cream*, merah muda)
8. Plafond datar

Berdasarkan hal tersebut diatas, studi kasus dipilih secara acak cluster sebanyak 1 sekolah negeri dan 1 sekolah swasta yang diurutkan berdasarkan abjad per kecamatan pada tiga kecamatan yang memiliki jumlah SD terbesar Pemilihan ini didasarkan atas³¹:

1. Derajat keseragaman sampel yang hampir memiliki sedikit perbedaan diantara tiap anggota populasi, tetapi dikarenakan banyaknya populasi dan ketidakadaan data sekolah (desain ruang kelas dan bangunan sekitar) sehingga keseluruhan populasi dianggap sama.
2. Keterbatasan waktu penelitian, biaya, tenaga, serta alat untuk pengukuran dan alat simulasi

d. Berdasarkan sistem acak cluster, maka terpilih

1. Kecamatan Pancoran Mas

SD Negeri : SD Negeri Depok 3

SD Swasta : SD Kwitang 8 PSKD

2. Kecamatan Sukmajaya

SD Negeri : SD Negeri Mekarjaya 27

SD Swasta : SD Pemuda Bangsa

3. Kecamatan Beji

SD Negeri : SD Negeri Beji 4

SD Swasta : Tidak ada SD swasta dalam daftar

²⁹ Depdiknas, 2005.

³⁰ Sekolah yang alamatnya tidak jelas dan penggandaan nama sekolah (tapi beda kode sekolah) tidak masuk verifikasi

³¹ Alasan penggunaan sampel dalam penelitian yang dikemukakan oleh Prof. Rozaini Nasution, SKM., dala artikel *Teknik Sampling*, Jurnal Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Sumatera Utara. 2003



Tabel 3.2: Penentuan Wilayah Per Kecamatan.

No.	Wilayah Kecamatan	Jumlah Sekolah	Terpilih
1	Beji	15	*
2	Cimanggis	3	
3	Limo	12	
4	Pancoran Mas	32	*
5	Sawangan	8	
6	Sukmajaya	27	*

(Sumber: Dinas Pendidikan Kota Depok, 2008)

Dalam table ini juga dirinci jumlah sekolah dasar masing-masing kecamatan, untuk kemudian ditentukan sebanyak tiga kecamatan dengan jumlah sekolah dasar terbanyak.

Persebaran lokasi studi kasus di Kota Depok tergambar pada gambar 3.2



Gambar 3.2: Lokasi SD Studi Kasus

(Sumber: Google Earth, 2008(kiri) dan Jakarta Falk Plan, 2008(kanan))

Keterangan gambar:

- A. SDN Beji 4
- B. SD Kwitang 8 PSKD
- C. SDN Depok 3
- D. SD Pemuda Bangsa
- E. SDN Mekarjaya 27

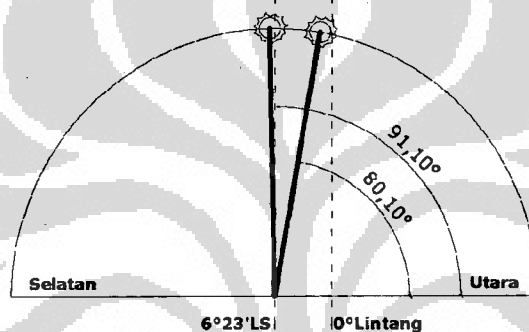


3.3. Faktor yang Mempengaruhi Penelitian

Beberapa faktor yang mempengaruhi penelitian ini yaitu

1. Faktor Eksternal

- koordinat penelitian berada pada $6^{\circ}19'00''$ - $6^{\circ}28'00''$ Lintang Selatan dan $106^{\circ}43'00''$ - $106^{\circ}55'30''$ Bujur Timur atau dapat disimpulkan koordinat latitude - 6.23° dan longitude 106.48°
- Sudut sinar matahari yang diambil adalah sudut VSA (*Vertical Shadow Angle*) pada keadaan matahari puncak (*high noon*) yaitu sudut $91,10^{\circ}$ dari utara pada awal bulan Maret dan sudut $80,10^{\circ}$ dari utara pada akhir bulan Maret (gambar 3.3).



Gambar 3.3: Posisi VSA
(Sumber: Solar Tools, 2008)

- Kondisi langit pada saat simulasi adalah *Overcast Sky*³² according to CIE³³ ini dikarenakan perbedaan curah hujan yang cukup kecil 2684 mm/tahun, namun dengan jumlah hari hujan yang cukup banyak yaitu 222 hari/tahun. Begitu pula dengan kondisi rata-rata penyinaran matahari per tahun yang cukup rendah, hanya 49,8%.
- Kondisi langit pada saat pengukuran lapangan adalah kondisi real time atau kondisi pada saat itu.
- Bangunan di sekitar ruang kelas dengan jarak lebih dari 5m pada sisi yang berhadapan dengan bukaan tidak lebih dari dua lantai. Ini dimaksudkan agar sinar matahari masuk ke dalam ruang kelas secara maksimal

³² Overcast sky adalah kondisi dimanan awan menaungi langit sebanyak 95%. (sumber: <http://www.schorsch.com/kbase/glossary/skies.html>)

³³ CIE adalah Komisi Internasional mengenai Iluminasi (The International Commission on Illumination) dikenal pula dengan CIE karena dalam bahasa Prancis CIE adalah Commission internationale de l'éclairage. CIE adalah pemegang otoritas internasional untuk standar pencahayaan, iluminasi, warna, serta kedalaman warna. (sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_on_Illumination)



2. Karakter Ruang

- a. Bentuk dasar serta dimensi sesuai dengan kondisi ruang kelas yang akan diteliti
- b. Lantai yang diteliti adalah lantai satu
- c. Jenis koridor adalah *single loaded corridor*
- d. Ruangan yang memiliki koridor di utara dan ruangan yang memiliki koridor di selatan
- e. Warna material ruangan adalah warna cerah (putih, cream, merah muda, kuning muda). Warna cerah ini akan membantu dalam pendistribusian cahaya dalam ruangan
- f. Warna lantai serta furniture sesuai dengan kondisi ruang kelas yang akan diteliti.
- g. Aktivitas dalam ruang tidak akan diteliti

3. Karakter Bukaannya

- a. Orientasi bukaan adalah utara – selatan
- b. Jenis bukaan adalah bukaan satu sisi pada sisi koridor, bukaan pada sisi tanpa koridor, dan kombinasi keduanya
- c. Bahan yang digunakan bukaan sesuai dengan kondisi ruang kelas yang akan diteliti
- d. Dimensi dan tata letak bukaan sesuai dengan kondisi ruang kelas yang akan diteliti

3.4. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- a. Bidang pemantul jenis *light shelves*
- b. Jenis *light shelves* yang digunakan adalah bidang vertical
- c. Reflektansi dari *light shelves* yang digunakan adalah yang mendekati batas atas yaitu mendekati 90% (yang merupakan batas reflektansi yang dimiliki program simulasi). Hal ini dimaksudkan agar diketahui tingkat pencahayaan ruang kelas secara maksimum.



3.5. Langkah-langkah Penelitian

1. Kajian pustaka

persyaratan pencahayaan alami dalam ruang kelas, persyaratan komposisi, bentuk, serta arah dari bidang pemantul, serta menentukan jenis bidang pemantul mana yang digunakan dalam penelitian.

2. Survey Lapangan

Dilakukan untuk mengevaluasi kondisi bentuk dan dimensi serta kondisi penerangan ruang kelas yang ada dari bangunan sekolah yang menjadi kasus, serta kondisi sekitar bangunan studi kasus berdasarkan beberapa variabel tersebut diatas. Beberapa hal menyangkut survey lapangan:

- a. Mengingat pendeknya waktu penelitian maka bulan penelitian yang dipilih adalah periode bulan Maret
- b. Waktu penelitian adalah pagi pukul 07.00 dan 13.00. Kedua waktu ini adalah waktu awal dan akhir pembelajaran, juga berkaitan dengan sudut rendah dan sudut tinggi matahari.
- c. Ruang kelas yang dijadikan objek penelitian adalah ruang kelas yang berhadapan dengan kondisi penerangan yang minim. Untuk mengetahui ruangan yang minim penerangan tersebut, pada saat survei pendahuluan dilakukan pengukuran secara sesaat (hanya meletakkan lux meter di atas meja tengah ruangan pada saat tengah hari/sudut tinggi matahari)
- d. Pada saat survei pendahuluan, dilakukan pengukuran kondisi sekitar kelas, seperti tinggi (dalam ukuran berapa lantai) dan banyaknya bangunan sekitar serta tinggi (bangunan kelas sebagai pembanding)
- e. Pemotretan kondisi yang ada kelas dan kondisi sekitar kelas.
- f. Pengukuran intensitas dilakukan sebelum siswa sebelum masuk kelas dan setelah siswa menyelesaikan proses belajar. Ini dilakukan agar proses pengukuran tidak mengganggu proses belajar, dan juga siswa tidak mengganggu proses pengukuran.
- g. Pelaksanaan proses ini dilakukan agar meminimalisasi faktor reflektansi dan pembayangan manusia dan pakaian.
- h. Titik ukur lapangan yang dipilih untuk luar bangunan adalah pada koridor
- i. Titik ukur dalam yang dipilih adalah pada bidang kerja (meja tulis) dan pada papan tulis, yaitu titik ukur utama (TUU) pada tengah-tengah ruangan, titik ukur



samping pada baris meja paling belakang dan paling depan di tengah-tengah ruangan, titik ukur pada titik tengah papan tulis. Ini dilakukan karena siswa melihat ke arah papan tulis, sehingga perlu diketahui intensitas cahaya pada papan tulis.

- j. Pengukuran dilakukan per-titik secara simultan. Dilakukan dengan cara:
 1. Meletakkan sensor lux meter pada tiap titik secara bergantian
 2. Setiap pengukuran pada tiap titik sensor dibiarkan dahulu sampai angka yang tertera pada LCD menjadi cenderung tetap
 3. Setelah tidak berubah, angka dicatat dan pindah ke titik selanjutnya
 4. Begitu seterusnya selama waktu pengukuran pukul 07.00 dan 13.00

3. Eksperimen

Dengan menggunakan AutoCAD 2007³⁴ dimasukkan hasil studi literature mengenai bentuk bidang pemantul yang digunakan kemudian disimulasikan garis-garis sudut sinar datang dan pantul matahari sehingga didapat beberapa variasi bidang pemantul. Kemudian hasil pengukuran dimodelkan dan ditambahkan pemantul hasil simulasi pada proses sebelumnya, kemudian disimulasikan intensitas cahayanya dengan program Relux Professional 2007³⁵ sehingga dapat diketahui berapa tingkat pencahayaan hasil simulasi tersebut. Beberapa hal menyangkut simulasi yaitu:

- a. Pengaturan waktu dan bulan pada program simulasi adalah sama dengan pengukuran kondisi lapangan sehingga didapatkan hasil yang objektif
- b. Dalam *software Relux Professional 2007* model ruang kelas studi kasus diposisikan sama dengan keadaan yang ada. Pemberian material dan finishing juga disesuaikan dengan kondisi yang ada namun mengikuti dengan keterbatasan software.
- c. Kondisi langit yang diatur pada *software Relux Professional 2007* adalah *Overcast Sky*³⁶ *according to CIE*³⁷ ini dikarenakan di Kota Depok, perbedaan

³⁴ AutoCAD adalah salah satu program computer berbasis CAD atau Computer Aided Design. AutoCAD digunakan untuk menggambar 2 dimensi dan 3 dimensi yang dikembangkan oleh Autodesk. Keluarga - produk AutoCAD, secara keseluruhan, adalah software CAD yang paling banyak digunakan di dunia. Sumber: <http://id.wikipedia.org>.

³⁵ Relux adalah program untuk mengkalkulasi dan memvisualkan pencahayaan alami dan pencahayaan buatan pada sebuah ruangan tunggal. Sumber: www.relux.com

³⁶ Overcast sky adalah kondisi dimana awan menaungi langit sebanyak 95%. (sumber: <http://www.schorsch.com/kbase/glossary/skies.html>)

³⁷ CIE adalah Komisi Internasional mengenai Iluminasi (The International Commission on Illumination) dikenal pula dengan CIE karena dalam bahasa Prancis CIE adalah Commission internationale de



curah hujan yang cukup kecil 2684 mm/tahun, namun dengan jumlah hari hujan yang cukup banyak yaitu 222 hari/tahun. Begitu pula dengan kondisi rata-rata penyinaran matahari per tahun yang cukup rendah, hanya 49,8%.

- d. Kondisi cuaca pada saat pengukuran lapangan diabaikan, karena kondisinya dapat berubah-ubah secara cepat, dan ini akan mempengaruhi hasil pengukurannya pula.

Proses simulasi adalah sebagai berikut:

1. Dari kajian pustaka didapat berbagai bidang pemantul
2. Bidang pemantul ini dicari komposisi dan bentuk yang terbaik dengan cara memberikan garis sinar datang matahari dan kemudian memantulkannya (mirror tool) menggunakan AutoCAD 2007 pada tiap bidang yang terkena garis tersebut.
3. Model disimulasikan secara gambar potongan utara-selatan bangunan
4. Ukuran model yang dibuat adalah yang paling mewakili ukuran semua studi kasus
5. Garis sinar datang yang dibuat adalah garis sinar sudut VSA. Ini dikarenakan VSA adalah proyeksi terhadap bidang utara-selatan bangunan.
6. Bidang pemantul dengan garis sinar datang matahari yang paling sempurna masuk ke dalam ruangan dengan memperhatikan kemungkinan tidak terjadinya efek negatif³⁸ adalah bidang pemantul terpilih
7. Hasil pengukuran dimensi ruang dan sekitar ruang dibuatkan model dalam Relux Professional 2007
8. Model bidang pemantul hasil simulasi AutoCAD 2007 dimasukkan ke dalam Relux Professional 2007
9. Model ruangan tanpa pemantul dan dengan pemantul disimulasikan di Relux Professional 2007

4. Usulan

Setelah proses simulasi dan dibandingkan dengan kondisi eksisting maupun model tanpa pemantul akan dilakukan penelusuran hasil perbandingan tersebut. Setelah didapat temuan-temuan kondisi eksisting (yang ditambah bidang pemantul) di lihat kembali terhadap prinsip-prinsip perancangan pencahayaan alami,

l'éclairage. CIE adalah pemegang otoritas internasional untuk standar pencahayaan, iluminasi, warna, serta kedalaman warna. (sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_on_Illumination)

³⁸ Efek negative adalah glare. Yang dikategorikan glare apabila terdapat nilai intensitas yang tinggi dengan perbedaan yang cukup signifikan disbanding nilai intensitas titik lainnya.



kemudian diusulkan beberapa pengembangan berdasarkan prinsip tadi untuk selanjutnya dilakukan proses pengujian tahap kedua.

Pengujian dilakukan dengan proses yang sama dengan proses sebelumnya, yaitu tahap pertama pengujian *ray-tracing* terhadap usulan model ruang kelas dengan tipe pemantul yang telah ditetapkan pada proses sebelumnya. Setelah didapatkan model ruang kelas yang paling baik dari hasil uji *ray-tracing*, tahap kedua, model akan disimulasikan pada Relux 2007 Professional.

Bedanya dengan proses simulasi sebelumnya adalah waktu yang digunakan pada kedua tahap tersebut adalah waktu yang digunakan. Pada proses simulasi pertama digunakan waktu dengan rentan selama bulan Maret, pada proses simulasi ini akan dilakukan pada awal bulan Maret, akhir bulan Juni dan Desember.

Namun hasil proses simulasi untuk model ruang kelas usulan ini tidak akan dibandingkan dengan kondisi eksisting, dikarenakan kemungkinan desain yang berbeda dengan bangunan eksisting, serta waktu perhitungan yang berbeda dengan pengukuran kondisi eksisting

3.6. Alat Penelitian

Alat yang digunakan untuk eksperimen adalah

1. Komputer Personal (PC) dan Komputer *Mobile* (Laptop) yang dilengkapi dengan program:
 - a. Relux 2007, digunakan untuk simulasi data
 - b. AutoCAD 2007, digunakan untuk menguji jatuhnya sinar matahari terhadap bidang pemantul
 - c. Solar Tools, digunakan untuk mengetahui sudut-sudut sinar matahari pada waktu tertentu
 - d. Microsoft Word 2007, digunakan untuk menulis hasil laporan
 - e. Microsoft Excel 2007, digunakan untuk menyusun data hasil penelitian dalam bentuk tabel
2. Luxmeter Extech Instrument 401036 untuk digunakan pada survey lapangan yang hasilnya dipakai sebagai pembanding hasil simulasi komputer
3. Kamera *Digital* 4 Megapixel, untuk mengambil visualisasi selama proses survey lapangan



3.7. Simulasi Komputer

3.7.1. Tahap I

3.7.1.1. Simulasi *Ray-tracing* dengan Program AutoCAD 2007

Prosesnya adalah dengan men-ray tracing-kan garis khayal dengan sudut VSA terhadap pemantul dan komponen ruang secara potongan melintang utara-selatan:

1. Mengambil salah satu bangunan yang desainnya mewakili keseluruhan sampel
2. Pada gambar potongan bangunan tersebut, terdapat dua jenis bangunan: bangunan sisi utara dengan koridor di selatan dan bangunan sisi selatan dengan koridor di utara. Bangunan sisi selatan adalah pencerminan sisi selatan.
3. Beberapa komponen pemantul yang diujicobakan disini untuk diletakkan di koridor dan sisi berlawanan dengan koridor baik pada bangunan utara dan selatan yaitu:
 - a. Komponen dengan sudut 0° , 30° , dan 45°
 - b. Komponen dengan sudut kombinasi antara 0° dengan 30° , dan 45°
 - c. Komponen pada dinding tanpa koridor dengan ketinggian diatas jendela dan dibawah bouvenligh atau sekitar 210 cm dari lantai
 - d. Komponen pada kolom koridor dengan ketinggian 100cm, 150cm, dan 210cm dari lantai.
 - e. Komponen pada kolom koridor dengan ketinggian 210cm diberi penyesuaian dengan pemberian bukaan pada atap koridor.
4. Garis dengan sudut VSA direfleksikan terhadap komponen bidang pemantul tersebut, plafond, dinding, dan lantai dari potongan bangunan
5. Komponen pemantul dengan garis pantul yang paling banyak masuk ke dalam ruangan kelas (bukan koridor) adalah yang dipakai dalam simulasi, dengan mengindahkan faktor sebagai berikut:
 - a. Sinar pantul yang masuk ke dalam ruang harus memantul ke plafond ruangan
 - b. Jika ada pantulan langsung dari komponen pemantul dan/atau plafond koridor menuju lantai (meja kerja) harus berada kira-kira 150cm diatas permukaan lantai. Hal ini untuk menghindarkan *glare* terhadap siswa.
 - c. Sinar yang terlalu banyak memantul (lebih dari 4 kali) dianggap tidak efektif masuk ke dalam ruangan karena energinya telah habis pada saat pemantulan



6. Komponen yang terpilih untuk selanjutnya digunakan pada simulasi dengan program Relux Professional 2007

3.7.1.2. Simulasi Intensitas Cahaya dengan Program Relux Professional 2007

1. Memasukkan data ruangan eksisting dalam satuan meter(m) di Relux berupa
 - a. Ukuran ruang (panjang dan lebar). Panjang akan mewakili *wall*³⁹ 1 dan 3, lebar akan mewakili *wall* 2 dan 4
 - b. Ketinggian ruangan (lantai ke plafond)
 - c. Ketinggian *Reference Plane*⁴⁰ (lantai ke reference plane). Dalam penelitian ini digunakan ketinggian 0.75m
 - d. Jarak *Offset to the Wall*⁴¹ (dinding ke reference plane). Dalam penelitian ini digunakan jarak 0.5m
2. Memasukkan material dari komponen ruangan seperti lantai, plafond, dan tiap dinding. Material ini mempunyai reflektansi masing-masing dan ditentukan dalam rho. Material untuk penelitian disesuaikan dengan kondisi eksisting semirip mungkin
3. Memasukkan *North Angle*⁴² berdasarkan masing-masing ruangan kelas eksisting
4. Memasukkan objek *Room Element* berupa:
 - a. *Door* (pintu).
 1. Pada penelitian ini pintu diletakkan pada *Wall* 1. Yang dimasukkan dalam ukuran pintu ini adalah ukuran lebar bukaan.
 2. Kusen tidak termasuk
 - b. *Window* (jendela).
 1. Pada penelitian ini jendela diletakkan pada *Wall* 1 dan 3.
 2. Posisi dan ukuran jendela disesuaikan dengan kondisi eksisting dengan mengindahkan tiang dari kusen jendela.
 3. Namun dilakukan pemisahan antara jendela bawah dan jendela *bouvenligh*.

³⁹ Wall adalah istilah yang digunakan Relux untuk mewakili keempat sisi ruangan (apabila ruangan berbentuk segi empat) menjadi *Wall* 1, *Wall* 2, *Wall* 3, dan *Wall* 4.

⁴⁰ *Reference Plane* adalah bidang yang menjadi patokan untuk Relux meletakkan sensornya. Dalam penelitian ini yang menjadi *Reference Plane* adalah bidang atas meja

⁴¹ *Offset to the Wall* adalah jarak antara dinding (semua sisi) dengan reference plane. Jarak ini dimaksudkan agar tidak semua luasan ruangan menjadi reference plane-nya karena semakin besar reference plane, semakin besar memori computer yang digunakan pada saat kalkulasi

⁴² *North Angle* adalah sudut yang terbentuk antara utara pada Relux dengan arah utara sesungguhnya pada kondisi eksisting berdasarkan posisi ruangan yang menjadi model



4. Pada jendela bawah, segala macam jenis baik jendela hidup, kaca mati, atau kaca nako akan dianggap sebagai kaca mati
5. Material dari kaca jendela adalah glass dengan tingkat transmittance (Thu) 80% untuk jendela bawah dan 50% untuk bouvenligh apabila bouvenligh terdiri atas kisi-kisi
5. Memasukkan objek luar ruangan terbatas hanya pada jarak 1-2 meter dari keliling bangunan
 - a. Kolom
 - b. Lantai koridor
 - c. Plafond koridor
 - d. Bak tanaman (jika ada)
 - e. Bangunan dan objek lain sekitar ruang kelas model pada jarak 1-2 meter
6. Material yang digunakan objek diatas disesuaikan dengan kondisi eksisting
7. Material bidang pemantul adalah material dengan tingkat reflektansi mendekati Rho 90% serta tingkat specularity tertinggi, namun masih memiliki nilai kekasaran material (*roughness*) untuk mencegah terjadinya kesilauan.

Tabel 3.3: Tingkat Reflektansi Material Relux Professional 2007

No.	Material	Total		
		Reflectivity (Rho - %)	Specularity	Roughness
1	Stainless Steel	80	1	0,045
2	Mirror Silver	80	1	0,00
3	Cat Putih (Doff)	80	0,00	0,00
4	Cat Putih (Glossy)	80	0,005	0,051
5	Perforated Plate	73,5	-	-
6	Zinc	70	-	-
7	Porcellen Putih	70	0,05	0,00
8	Cooper Polished	69	0,522	0,011
9	Chrome Steel	65	0,98	0,00
10	Aluminium	60	0,362	0,178
11	Marmer Putih	54,6	-	-
12	Concrete (unfinished)	41	-	-
13	Cooper Crude	32,8	0,195	0,074

(Sumber: Relux Professional 2007)

Berdasarkan tabel diatas maka material pemantul yang digunakan adalah stainless steel



8. Objek yang tidak dimasukkan dalam simulasi yaitu:
 - a. Furnitur ruangan. Ruang yang disimulasikan dianggap kosong, karena posisi reference plane diatas furniture yang mayoritas yaitu meja dan kursi
 - b. Ruang kelas disamping ruang kelas model. Ruang kelas non model dianggap tiak berpengaruh karena posisinya tidak berada didepan jendela
 - c. Objek lain diluar radius 3m dari ruang kelas model
9. Oleh Relux, objek lain diluar radius 3m dari ruang kelas model secara otomatis akan dianggap tidak ada. Objek ini tidak disertakan, karena kecil pengaruhnya terhadap masuknya cahaya matahari ke dalam ruangan
10. Semakin banyak objek, kebutuhan komputer akan memori semakin besar. Sebagai catatan, komputer Pentium IV 2.4, RAM 1GB, membutuhkan waktu kalkulasi selama 2 jam untuk kondisi ruang kelas 8x7m dengan furniture lengkap, dan tanpa objek luar ruangan (hanya koridor)
11. Memasukkan data lokasi berupa longitude dan latitude
12. Kalkulasikan dengan pengaturan *daylight*:
 - a. Precision: average indirect fraction. Presisi ini cukup detail dari segi pemantulan material
 - b. Kondisi Sky (langit) yang dipilih adalah *Overcast Sky acc. CIE*
13. Tanggal yang dipilih adalah tanggal yang sama dengan pengukuran lapangan, dengan waktu pengukuran pagi (07:00 WIB) dan siang (13:00 WIB)

3.7.2. Tahap II

Variabel yang digunakan pada simulasi tahap II akan ditentukan setelah mendapatkan hasil simulasi tahap I dan dianalisa berdasarkan prinsip-prinsip pencahayaan alami tidak langsung terhadap temuan-temuan pada model hasil simulasi tahap I dan kondisi eksisting

3.7.2.1. Simulasi *Ray-tracing* dengan Program AutoCAD 2007

Tahap-tahap simulasi sama seperti simulasi *ray-tracing* tahap I.

3.7.2.2. Simulasi Intensitas Cahaya dengan Program Relux Professional 2007

Tahap-tahap simulasi sama seperti simulasi intensitas pencahayaan tahap I



BAB IV DATA DAN ANALISA

Pengukuran dilakukan terhadap lima sekolah dasar (dua sekolah swasta dan tiga sekolah negeri) yang mewakili tiga kecamatan. Dua dari masing-masing sekolah, yaitu ruang kelas utara dan selatan ditentukan untuk dilakukan pengukuran. Sekolah-sekolah tersebut adalah:

1. SDN Mekarjaya 27
2. SD Kwitang 8 PSKD
3. SDN Depok 3
4. SD Pemuda Bangsa
5. SDN Beji 4

4.1. Sekolah Studi Kasus

1. SDN Mekarjaya 27

Lokasi : Jl. Rinjani, Kel. Abadijaya, Kec. Sukmajaya, Depok II Timur



Gambar 4.1: Lokasi SD Mekarjaya 27

Berlokasi di kawasan pemukiman penduduk yang rata-rata berlantai 1-2 lt. Sekeliling sekolah tidak ada bangunan yang lebih tinggi dari bangunan sekolah, terutama pada ruang kelas utara dan selatan. Posisi ruang kelas selatan (dan lapangan) lebih rendah sekitar 1,5 meter dibandingkan ruang kelas utara dan bangunan di sekitar sekolah. Dinding belakang ruang kelas selatan berhadapan



dengan dinding bangunan lain, sementara dinding belakang ruang kelas utara berhadapan dengan tanah lapang milik warga. Detail ruang kelas utara dan selatan terdapat di bagian lampiran.

2. SD Kwitang 8 PSKD

Lokasi : Jl. Pitara, Kel/Kec. Pancoranmas, Sawangan

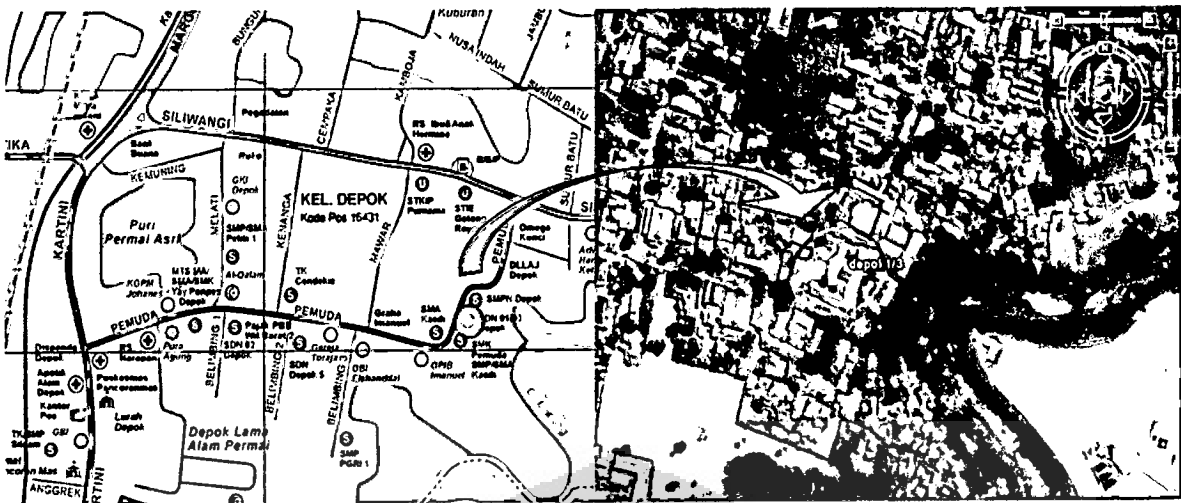


Gambar 4.2: Lokasi SD Kwitang 8 PSKD

Berlokasi didaerah yang masih banyak vegetasi, meskipun masih dilingkungi oleh rumah-rumah penduduk yang rata-rata terdiri dari satu lantai. SD Kwitang 8 PSKD ini berada pada kompleks SD-SMP-SMU Kwitang 8 PSKD. Bangunan SD Kwitang 8 PSKD ini berada di antara bangunan SMP dan bangunan SMA. Bangunan SD terdiri dari dua sayap, sayap timur dan barat. Untuk penelitian ini, diambil bangunan utara dan selatan dari sayap timur. Pada sayap timur ini, ruang kelas utara cenderung hanya terbayangi oleh pohon, sementara dibelakang ruang kelas selatan terdapat bangunan berlantai tiga. Detail ruang kelas utara dan selatan terdapat di bagian lampiran.

3. SDN Depok 3

Lokasi : Jl. Pemuda, Kel. Depok, Kec. Pancoranmas, Depok Lama

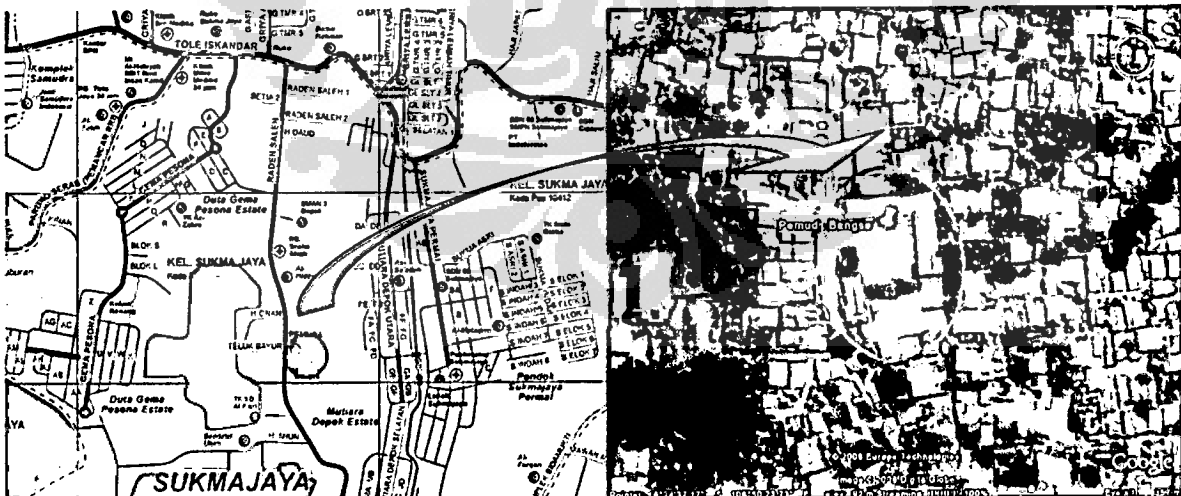


Gambar 4.3: Lokasi SDN Depok 3

Berlokasi di kawasan yang tidak padat penduduk. Dimana masih banyak terdapat vegetasi disekitar bangunan. Begitu pula dibelakang ruang kelas utara dan selatan, yang masih dibayangi oleh vegetasi yang tingginya cenderung melebihi jendela. Detail ruang kelas utara dan selatan terdapat di bagian lampiran.

4. SD Pemuda Bangsa

Lokasi : Jl. Raden Saleh, Kel. Sukmajaya, Kec. Sukmajaya, Depok II



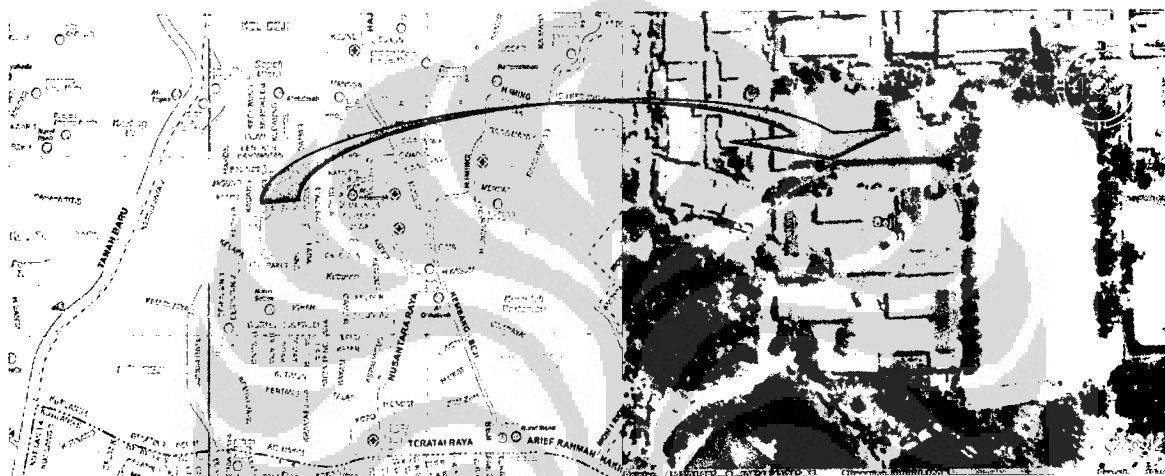
Gambar 4.4: Lokasi SD Pemuda Bangsa

Kombinasi antara rumah tinggal penduduk dengan vegetasi melingkupi bangunan SD Pemuda Bangsa ini. Pada bagian tengah kompleks SD ini, terdapat lapangan olahraga/upacara. Untuk bangunan ruang kelas utara, dinding belakangnya

berhadapan dengan dinding rumah penduduk setinggi dua lantai, sementara pada bangunan ruang kelas selatan, area koridor dibayangi oleh pohon yang lebih tinggi dari bangunan ruang kelas selatan serta dinding belakangnya berhadapan dengan bangunan lain yang masih berada pada satu kompleks SD ini. Detail ruang kelas utara dan selatan terdapat di bagian lampiran.

5. SDN Beji 4

Lokasi : Jl. Bali, Kel. Beji, Kec. Beji, Depok Utara



Gambar 4.5: Lokasi SD Beji 4

Berlokasi di kompleks sekolah TK-SD-SMP-SMA serta lapangan olahraga di lingkungan perumahan Depok Utara. Sekeliling bangunan SDN Beji 6 ini cenderung tidak mendapat halangan apapun. Bangunan ruang kelas utara dan selatan berhadapan langsung dengan jalan lingkungan. Sementara di depan masing-masing koridor terdapat lapangan milik SDN Beji 4. Detail ruang kelas utara dan selatan terdapat di bagian lampiran.

4.2. Analisis Ray-Tracing Tahap I

Pemilihan Komposisi dan Bentuk Bidang Pemantul

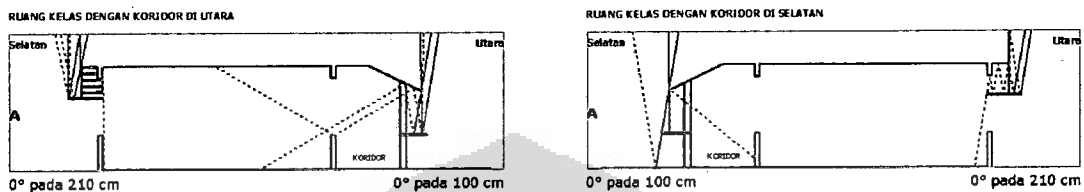
Dalam simulasi menggunakan AutoCAD 2007 ini, yang dilakukan adalah *men-ray-tracing*-kan garis khayal sinar datang sudut VSA. Berdasarkan kombinasi sudut, ketinggian, dan komposisi pemantul, didapat 15 kombinasi sudut, ketinggian, dan komposisi pemantul, baik di sisi dengan koridor, maupun sisi tanpa koridor di



bangunan utara dan selatan. Ketinggian yang digunakan pada sisi tanpa koridor pada bangunan utara dan selatan adalah sama yaitu 210 cm atau diatas jendela dan dibawah bouvenligh dari permukaan lantai.

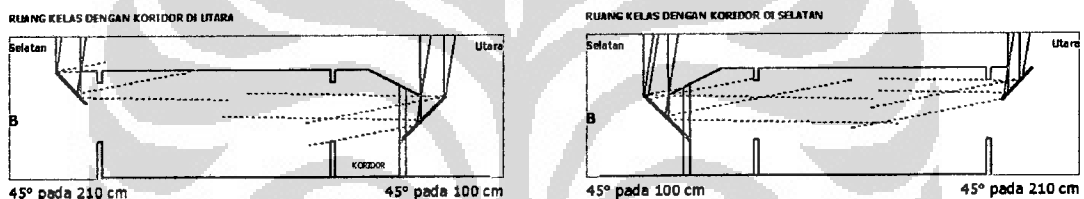
4.2.1. Pemantul koridor ketinggian 100 cm dari permukaan lantai

1. Sudut 0°



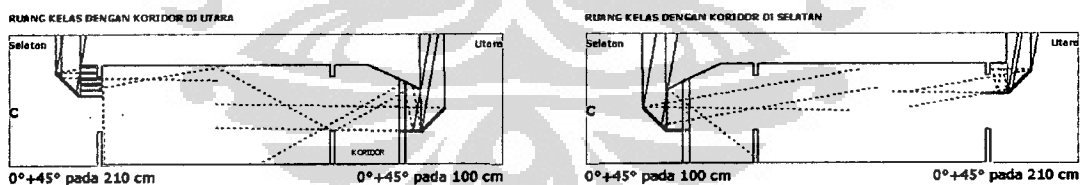
Gambar 4.6: Ray-Tracing Pemantul Sudut 0° $t=100$ cm
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

2. Sudut 45°



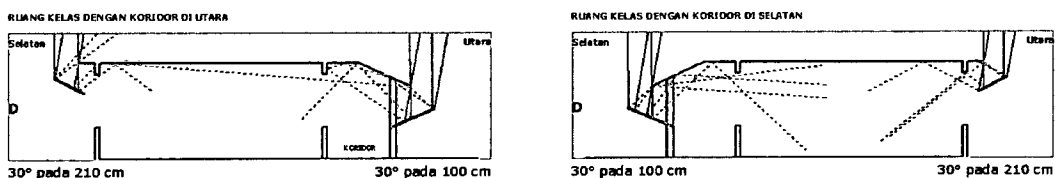
Gambar 4.7: Ray-Tracing Pemantul Sudut 45° $t=100$ cm
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

3. Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$



Gambar 4.8: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$ $t=100$ cm
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

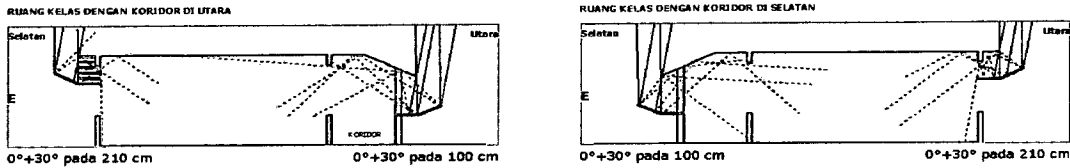
4. Sudut 30°



Gambar 4.9: Ray-Tracing Pemantul Sudut 30° $t=100$ cm
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)



5. Sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$

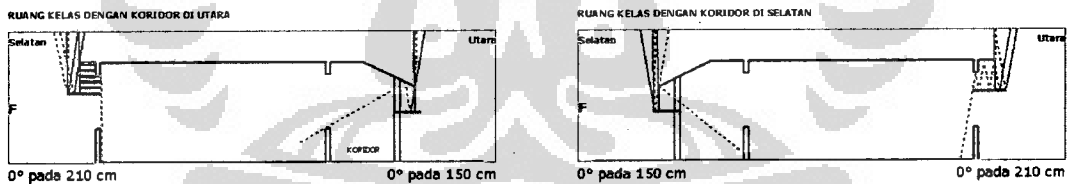


Gambar 4.10: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$ $t=100\text{cm}$
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

Pemantul sudut 30° dan sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$ baik di sisi koridor dan sisi tanpa koridor bangunan utara dan selatan cenderung memantulkan sinar datang kearah plafond, meskipun ada beberapa sisi yang sinar pantulnya diarahkan ke plafond koridor atau plafond luar ruangan. Namun, dengan ketinggian hanya 100 cm dari permukaan lantai pada sisi koridor, pemantul akan menghalangi pandangan keluar dan masuknya cahaya terdifusi dari luar koridor. Selain itu, ketinggian 100 cm, memungkinkan terjadinya terbenturnya kepala siswa dengan pemantul dan terjangkaunya pemantul dari sentuhan siswa.

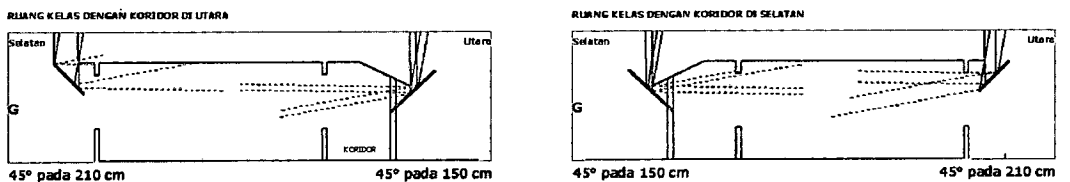
4.2.2. Pemantul koridor ketinggian 150 cm dari permukaan lantai

1. Sudut 0°



Gambar 4.11: Ray-Tracing Pemantul Sudut 0° $t=150\text{cm}$
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

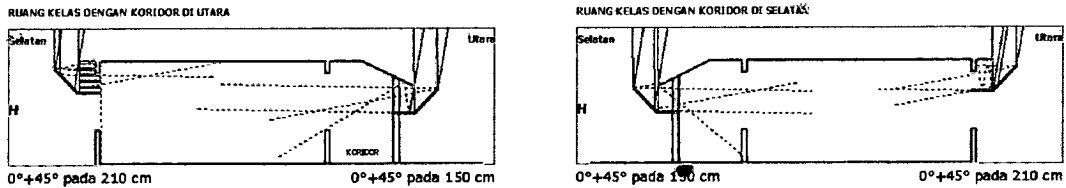
2. Sudut 45°



Gambar 4.12: Ray-Tracing Pemantul Sudut 45° $t=150\text{cm}$
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

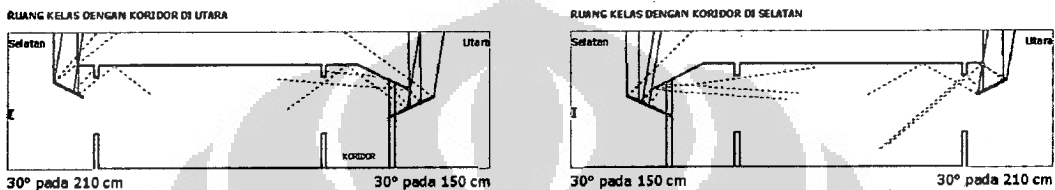


3. Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$



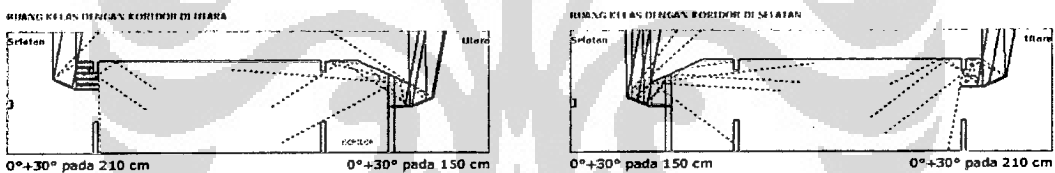
Gambar 4.13: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$ $t=150$ cm
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

4. Sudut 30°



Gambar 4.14: Ray-Tracing Pemantul Sudut 30° $t=150$ cm
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

5. Sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$



Gambar 4.15: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$ $t=150$ cm
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

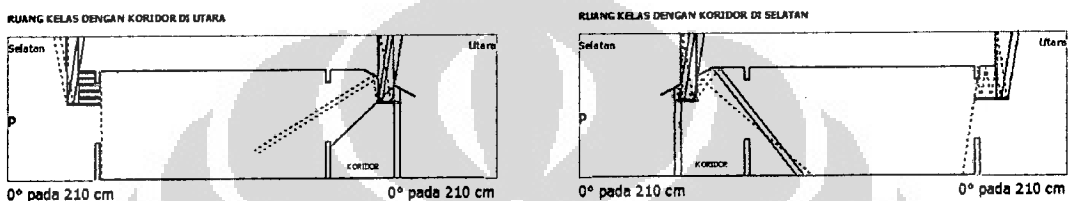
Terkecuali sudut 0° , semua komposisi pemantul pada ketinggian ini menunjukkan fungsi yang maksimal mengarahkan sinar ke arah yang dituju, yaitu plafond ruangan dan area di atas mata siswa, meskipun ada beberapa sisi pada bangunan utara dan selatan yang tidak mengarah ke pada tujuan. Namun, dengan ketinggian 150 cm dari permukaan lantai, pada sisi koridor, menyebabkan lubang cahaya antara pemantul dengan ujung teritisan semakin menyempit dibandingkan dengan ketinggian 100 cm. Hal ini mengakibatkan berkurangnya jumlah sinar yang dapat terpantulkan ke dalam ruangan. Ditambah pula dengan terhalangnya cahaya difusi dari luar koridor dan pemandangan keluar koridor. Selain itu, ketinggian 150 cm dari permukaan lantai, belum cukup aman untuk menghindari dari terbenturnya kepala siswa SD, yang tinggi rata-ratanya hanya 120-150 cm.



4.2.3. Pemantul koridor ketinggian 210 cm dari permukaan lantai dengan bukaan pada plafond koridor.

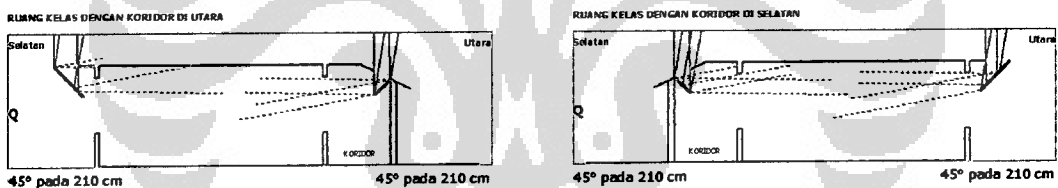
Bukaan pada atap koridor (plafond) diberikan dikarenakan pada ketinggian ini, terutama dalam hal ini dengan kondisi adanya teritisan pada atap, cahaya yang akan mengenai pemantul akan terhalangi oleh teritisan tersebut, sehingga luasan lubang cahaya yang efektif menangkap sinar sebelum terpantulkan menjadi jauh berkurang dibandingkan pada ketinggian-ketinggian sebelumnya.

1. Sudut 0°



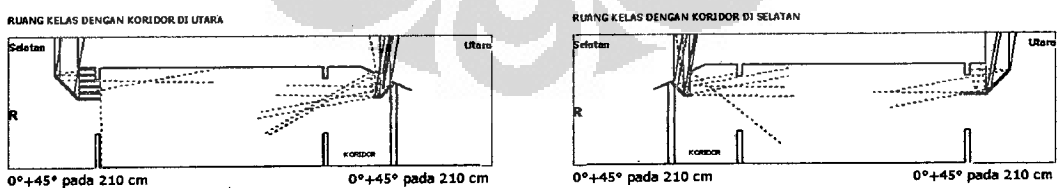
Gambar 4.16: Ray-Tracing Pemantul Sudut 0° $t=210\text{cm}$
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

2. Sudut 45°



Gambar 4.17: Ray-Tracing Pemantul Sudut 45° $t=210\text{cm}$
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

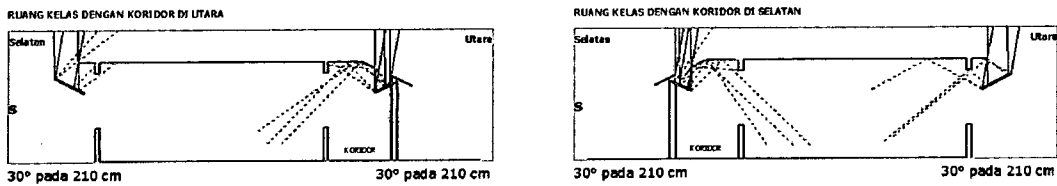
3. Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$



Gambar 4.18: Ray-Tracing Pemantul Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$ $t=210\text{cm}$
Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

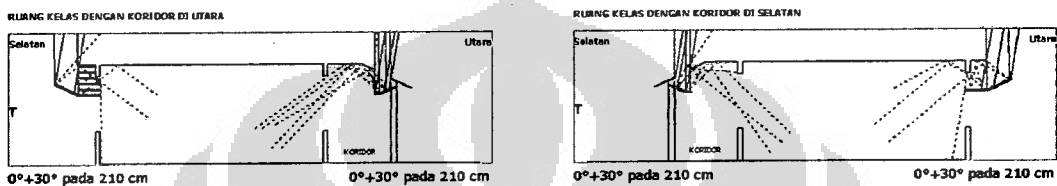


4. Sudut 30°



Gambar 4.19: Ray-Tracing Pemantul Sudut 30° t=210cm
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

5. Sudut 0° + 30°



Gambar 4.20: Ray-Tracing Pemantul Sudut 0° + 30° t=210cm
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

Terkecuali sudut 0°, sudut pemantul yang lain pada ketinggian ini cenderung tidak mengalami masalah, meskipun ada beberapa pemantul di semua sisi bangunan utara maupun selatan yang mengarahnya bukan menuju plafond ruangan, tetapi menuju plafond luar ruangan dan plafond koridor.

Selain itu dengan meletakkan pemantul pada ketinggian ini, kemungkinan mencederai siswa menjadi tidak ada. Juga dengan tidak adanya penghalang bagi masuknya cahaya difusi dari luar ruangan dan tidak terhalangnya pemandangan keluar koridor.

4.2.4. Hasil Analisis Ray-Tracing Tahap I

Berdasarkan hal tersebut analisis komposisi dan bentuk tahap I, maka pemantul dengan ketinggian 210 cm dari permukaan lantai untuk sisi koridor dipilih sebagai bidang pemantul yang akan disimulasikan pada Relux 2007. Untuk komposisi pemantul yang paling memenuhi syarat akan ditentukan untuk tiap sisi pada masing-masing bangunan utara dan selatan. Ini dilakukan agar tercapai hasil yang maksimum.

Bangunan Utara

- Sisi Koridor: a. Sudut 45° dengan bukaan pada plafond koridor
- b. Sudut 30° dengan bukaan pada plafond koridor



- Sisi Tanpa Koridor: a. Sudut 45°
b. Sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$

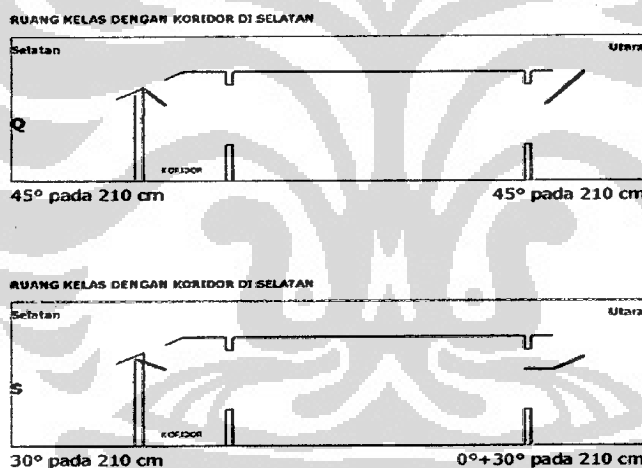
Bangunan Selatan

- Sisi Koridor: a. Sudut 45° dengan bukaan pada plafond koridor
b. Sudut 30° dengan bukaan pada plafond koridor

- Sisi Tanpa Koridor: a. Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$
b. Sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$

Masing-masing sudut akan dipasangkan dengan sudut yang sama pada tiap bangunan, misalkan sudut 45° pada sisi koridor dengan 45° pada sisi tanpa koridor pada bangunan utara. Ini dilakukan agar memudahkan penganalisisan hasil simulasi Relux 2007. Sehingga komposisi yang akan disimulasikan pada Relux Professional 2007 yaitu:

Bangunan Utara

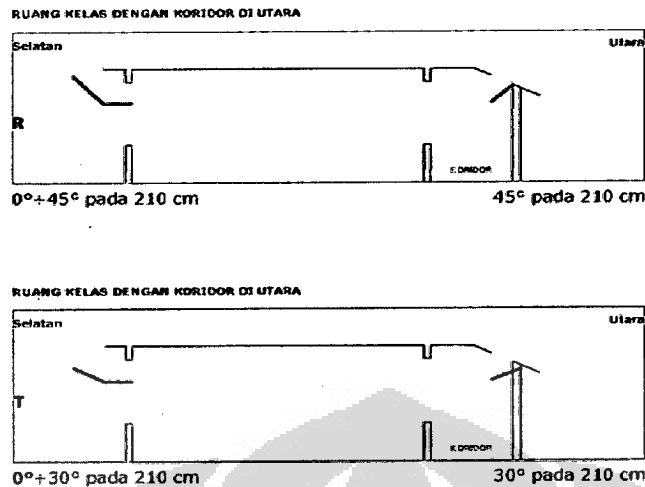


Gambar 4.21: Pemantul Terpilih Sisi Utara-Pemantul A (Atas) dan Pemantul B (Bawah)

- Gambar 4.21 (atas). Sudut 45° dengan bukaan pada plafond koridor dengan bukaan pada plafond koridor pada sisi koridor dan Sudut 45° pada sisi tanpa koridor, selanjutnya disebut pemantul A
- Gambar 4.21 (Bawah) Sudut 30° dengan bukaan pada plafond koridor dengan bukaan pada plafond koridor pada sisi koridor dan Sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$ pada sisi tanpa koridor, selanjutnya disebut pemantul B



Bangunan Selatan



Gambar 4.22: Pemantul Terpilih Sisi Selatan-Pemantul A (Atas) dan Pemantul B (Bawah)

- Gambar 4.22 (atas). Sudut 45° dengan bukaan pada plafond koridor dengan bukaan pada plafond koridor pada sisi koridor dan Sudut $0^{\circ} + 45^{\circ}$ pada sisi tanpa koridor, selanjutnya disebut pemantul A
- Gambar 4.22 (bawah). Sudut 30° dengan bukaan pada plafond koridor dengan bukaan pada plafond koridor pada sisi koridor dan Sudut $0^{\circ} + 30^{\circ}$ pada sisi tanpa koridor, selanjutnya disebut pemantul B

4.3. Hasil Simulasi

Simulasi menggunakan software Relux Professional 2007 menghasilkan beberapa macam data, yang akan digunakan hanyalah:

1. Titik ukur pada bidang kerja: TUU, Titik Ukur Utama; TUSd, Titik Ukur Samping depan; TUSb, Titik Ukur Samping belakang
2. TUp, Titik Ukur papan tulis
3. Avrg, Average (rata-rata) dari TUU, TUSd, dan TUSb
4. Eav, Average (rata-rata) keseluruhan titik intensitas
5. U g1, Uniformity g1

Untuk pengukuran lapangan, Eav dan U g1 tidak diperoleh.

Hasil simulasi diatas akan berbentuk tabel, kecuali untuk Avrg akan disampaikan dalam bentuk Gambar. Ini dilakukan, karena penentuan efektivitas pemantul didasarkan atas nilai rata-rata dari tiap titik ukur, sementara penggunaan Gambar hanya agar memudahkan penentuan.



4.3.1. SDN Mekarjaya 27

Tabel 4.1: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SDN Mekarjaya 27

		PAGI											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	45	43	45	41	67	69	69	68	65	69	66	66
	TANPA PEMANTUL	47	48	47	45	61	60	62	62	48	47	46	46
	PEMANTUL TIPE A	64	65	66	67	74	78	80	84	68	65	66	67
	PEMANTUL TIPE B	68	70	69	71	58	82	85	84	65	68	70	71
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	46	45	44	49	65	66	66	68	63	64	62	70
	TANPA PEMANTUL	45	41	37	48	52	45	55	58	53	40	39	48
	PEMANTUL TIPE A	49	50	50	50	56	57	57	57	57	47	49	49
	PEMANTUL TIPE B	51	51	52	53	58	58	59	60	51	51	52	53
		SIANG											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	101	105	102	108	121	124	123	121	102	101	102	108
	TANPA PEMANTUL	107	121	126	132	125	144	156	165	105	116	130	135
	PEMANTUL TIPE A	175	249	245	241	198	300	285	282	176	267	244	240
	PEMANTUL TIPE B	257	257	181	256	308	301	210	299	260	261	179	255
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	130	130	131	140	149	149	146	155	119	119	118	123
	TANPA PEMANTUL	131	133	142	155	150	161	171	179	121	130	135	142
	PEMANTUL TIPE A	125	182	181	181	149	216	210	208	131	180	179	181
	PEMANTUL TIPE B	125	192	188	189	145	219	221	214	123	193	191	189

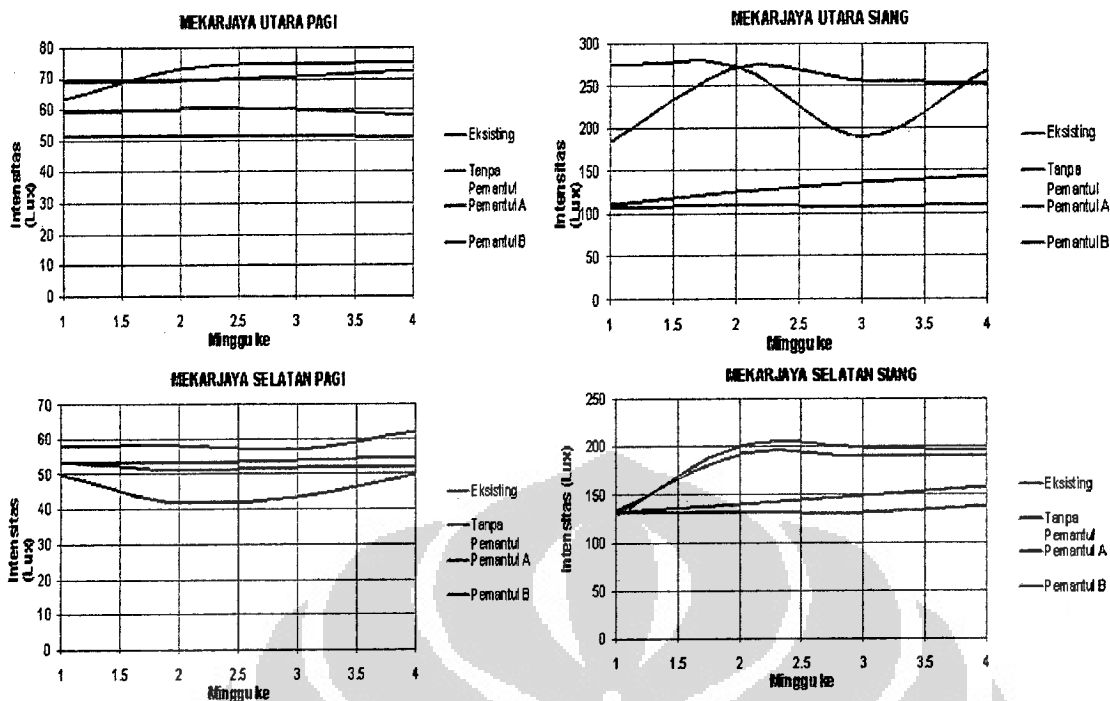
Tabel 4.1 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SDN Mekarjaya 27 untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik ukur dalam ruang kelas, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SD mekarjaya 27



Tabel 4.2: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SDN Mekarjaya 27

		PAGI											
		Tup				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	46	44	45	45								
	TANPA PEMANTUL	41	42	49	42	61	62	61	61	0.36	0.36	0.36	0.36
	PEMANTUL TIPE A	48	47	47	48	85	85	86	87	0.34	0.33	0.33	0.33
	PEMANTUL TIPE B	48	47	48	49	85	87	89	90	0.34	0.34	0.33	0.33
		TUP				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	77	46	45	46								
	TANPA PEMANTUL	38	40	35	40	63	62	52	51	0.41	0.4	0.4	0.39
	PEMANTUL TIPE A	41	42	42	43	74	74	75	76	0.28	0.28	0.28	0.28
	PEMANTUL TIPE B	44	45	45	45	79	79	80	81	0.29	0.3	0.29	0.29
		SIANG											
		Tup				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	71	73	70	79								
	TANPA PEMANTUL	73	76	80	85	135	143	152	160	0.36	0.36	0.37	0.36
	PEMANTUL TIPE A	101	164	164	157	209	318	318	310	0.34	0.33	0.33	0.33
	PEMANTUL TIPE B	160	166	146	165	327	330	279	326	0.34	0.34	0.29	0.34
		TUP				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	61	61	64	67								
	TANPA PEMANTUL	62	67	71	75	135	145	153	162	0.42	0.41	0.42	0.4
	PEMANTUL TIPE A	95	146	146	145	197	279	279	276	0.3	0.29	0.29	0.29
	PEMANTUL TIPE B	86	154	153	152	189	298	297	295	0.29	0.29	0.29	0.29

Tabel 4.2 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SDN Mekarjaya 27 untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik papan tulis, iluminansi rata-rata, serta tingkat pemerataan cahaya, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SD mekarjaya 27



Gambar 4.23: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SDN Mekarjaya 27

Gambar 4.23 menjelaskan perbandingan intensitas cahaya pada rata-rata titik ukur antara kondisi eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, pada SDN Mekarjaya 27, ruang kelas utara dan selatan, untuk kondisi pagi dan siang hari.

Analisis Hasil Simulasi pada Model Ruang Kelas SDN Mekarjaya 27:

1. Penggunaan pemantul pada simulasi meningkatkan intensitas cahaya baik pada kondisi eksisting maupun simulasi tanpa pemantul sebesar 70-130 lux dibanding hasil perhitungan kondisi eksisting. Namun dalam hal distribusi intensitas (*uniformity*), penggunaan pemantul justru mengurangi pemerataan cahaya sekitar 0.02 jika dibandingkan dengan kondisi eksisting maupun simulasi tanpa pemantul. Ini diakibatkan karena tingkat pemerataan adalah dengan adanya pemantul, intensitas cahaya meningkat, hal ini terjadi pada setiap titik. Dan pada titik tertentu, terutama dekat jendela, terjadi peningkatan yang sangat signifikan (dikarenakan sinar pantul dari pemantul mengarah ke jendela). Dengan adanya peningkatan yang signifikan ini, terdapat ketimpangan antara nilai terendah dengan nilai rata-rata, yang mengakibatkan nilai pada tiap titik tidak mendekati sama.



2. Penggunaan pemantul pada simulasi meskipun meningkatkan intensitas cahaya namun intensitas cahaya yang dihasilkan masih jauh dari nilai kenyamanan (250-300 lux) pada pagi hari. Ini bukan dikarenakan bidang pemantul, melainkan karena sudut sinar matahari pada pagi hari masih rendah, dan karenanya intensitas yang diterima objek tidak maksimal,
3. Penggunaan pemantul pada simulasi meningkatkan nilai intensitas cahaya mendekati nilai kenyamanan visual pada siang hari. Bahkan ada yang melampaui nilai kenyamanan ini (sampai 308 lux), Ini dikarenakan, sudut sinar matahari siang hari pada puncaknya (pukul 12.00 - 13.00), sehingga sudut datangnya sinar menuju objek menjadi maksimal untuk ditangkap mata.
4. Penggunaan pemantul pada simulasi bangunan utara mampu meningkatkan nilai intensitas cahaya lebih baik dibandingkan dengan penggunaan pemantul pada simulasi bangunan selatan. Ini diakibatkan karena sudut sinar datang matahari khususnya bulan Maret, sinar cenderung condong ke arah utara, sementara pada bangunan selatan, sisi utaranya terdapat koridor. Dengan adanya koridor ini, sinar yang datang akan terhambat sebelum masuk ke dalam ruangan, sekalipun dengan menggunakan pemantul.
5. Penggunaan pemantul pada simulasi meskipun mampu meningkatkan nilai intensitas cahaya pada titik papan tulis hanya mencapai 100-110 lux, namun nilai tersebut masih dibawah nilai nyaman visual khusus papan tulis (450-500 lux). Ini dikarenakan, pemantul hanya meningkatkan nilai intensitas ruang kelas secara keseluruhan, tidak per-titik. Selain itu, pemasukkan cahaya untuk titik papan tulis terhalang adanya pintu tanpa bukaan cahaya.
6. Pemantul B meningkatkan intensitas cahaya lebih baik dibandingkan dengan pemantul A. Ini dikarenakan pemantul B memiliki sudut yang lebih landai (30°) sehingga sudut pantul lebih diarahkan menuju plafond.



4.3.2. SD Kwitang 8 PSKD

Tabel 4.3: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SD Kwitang 8 PSKD

		PAGI											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	115	141	140	140	108	139	126	133	108	121	128	120
	TANPA PEMANTUL	105	120	123	122	120	142	146	135	96	119	120	122
	PEMANTUL TIPE A	121	122	124	126	145	144	146	152	128	130	129	134
	PEMANTUL TIPE B	91	113	116	119	97	137	138	140	83	121	124	126
Selatan	EKSISTING	101	92	112	89	113	106	110	100	121	118	120	112
	TANPA PEMANTUL	101	83	82	88	128	108	114	115	105	93	95	96
	PEMANTUL TIPE A	84	96	85	99	110	108	113	123	96	106	94	107
	PEMANTUL TIPE B	91	95	86	97	115	117	110	122	114	104	94	107
		SIANG											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	211	135	135	137	230	131	137	135	233	130	139	136
	TANPA PEMANTUL	329	442	448	435	390	532	496	483	338	441	440	434
	PEMANTUL TIPE A	373	465	448	353	473	504	502	425	351	446	469	372
	PEMANTUL TIPE B	431	425	424	425	515	446	507	465	461	452	458	449
Selatan	EKSISTING	218	129	131	120	215	139	144	136	192	138	134	136
	TANPA PEMANTUL	309	322	300	301	409	423	408	403	350	354	351	331
	PEMANTUL TIPE A	362	312	355	352	352	410	433	426	405	359	392	374
	PEMANTUL TIPE B	324	313	353	345	419	368	438	436	352	356	397	393

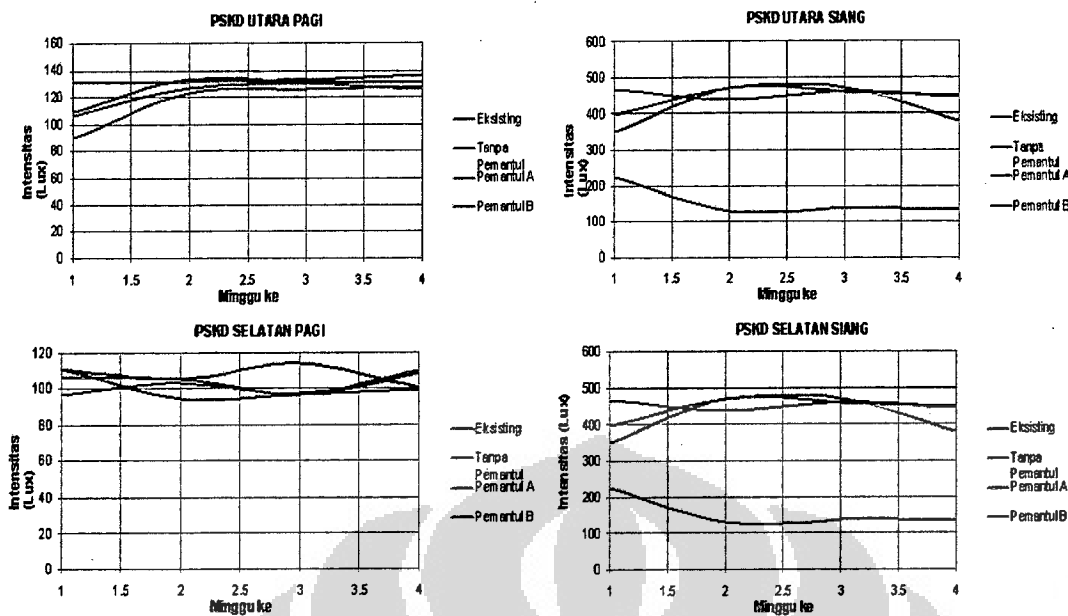
Tabel 4.3 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SD Kwitang 8 PSKD untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik ukur dalam ruang kelas, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SD Kwitang 8 PSKD



Tabel 4.4: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SD Kwitang 8 PSKD

		PAGI											
		Tup				Eav				U g1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	119	152	156	151								
	TANPA PEMANTUL	44	67	69	69	137	143	145	147	0.42	0.45	0.44	0.44
	PEMANTUL TIPE A	81	80	83	84	151	152	155	157	0.48	0.49	0.48	0.48
	PEMANTUL TIPE B	38	71	71	73	109	131	134	136	0.52	0.56	0.56	0.56
		TUP				Eav				U g1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	78	85	88	81								
	TANPA PEMANTUL	59	60	60	66	135	137	139	141	0.45	0.45	0.45	0.45
	PEMANTUL TIPE A	47	65	49	67	116	135	119	138	0.51	0.51	0.52	0.5
	PEMANTUL TIPE B	61	62	49	63	130	131	115	135	0.51	0.52	0.51	0.52
		SIANG											
		Tup				Eav				U g1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	213	148	129	151								
	TANPA PEMANTUL	242	241	241	242	540	540	537	533	0.44	0.44	0.45	0.44
	PEMANTUL TIPE A	155	281	278	227	524	573	569	565	0.44	0.47	0.48	0.49
	PEMANTUL TIPE B	246	242	246	240	497	497	490	489	0.56	0.56	0.55	0.55
		TUP				Eav				U g1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	211	101	102	97								
	TANPA PEMANTUL	217	213	215	213	518	517	514	510	0.46	0.45	0.46	0.46
	PEMANTUL TIPE A	222	176	219	220	507	441	503	500	0.5	0.51	0.5	0.5
	PEMANTUL TIPE B	178	213	212	211	442	493	491	448	0.52	0.51	0.51	0.52

Tabel 4.4 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SD Kwitang 8 PSKD untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik papan tulis, iluminansi rata-rata, serta tingkat pemerataan cahaya, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SD Kwitang 8 PSKD



Gambar 4.24: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SD Kwitang 8 PSKD

Gambar 4.24 menjelaskan perbandingan intensitas cahaya pada rata-rata titik ukur antara kondisi eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, pada SD Kwitang 8 PSKD, ruang kelas utara dan selatan, untuk kondisi pagi dan siang hari.

Analisis Hasil Simulasi pada Model Ruang Kelas SD Kwitang 8 PSKD:

1. Penggunaan pemantul pada simulasi meningkatkan intensitas cahaya baik pada kondisi eksisting maupun simulasi tanpa pemantul hanya pada siang hari meskipun nilai peningkatannya tidak signifikan (20-50 lux). Pada pagi hari, penggunaan bidang pemantul sedikit menurunkan intensitas pencahayaan
2. Dalam hal distribusi intensitas (*uniformity*), penggunaan pemantul sedikit meningkatkan pemerataan cahaya mencapai 0.05-0.1. Dapat terlihat pada tabel 4.4, antara nilai intensitas tertinggi dan terendah tidak jauh berbeda (terlihat dari antara nilai Avrg dengan Eav tidak jauh berbeda). Namun untuk nilai pemerataannya tidak bisa menjadi patokan, karena tidak mungkin dalam perancangan pencahayaan alami, nilai pemerataannya sempurna 1 (satu). Yang mungkin adalah mendekati nilai 1 (satu)
3. Penggunaan pemantul pada simulasi bangunan utara pagi hari penurunannya tidak terlalu besar (10-15 lux) dibandingkan dengan bangunan selatan jika dibandingkan



dengan kondisi eksisting dan simulasi tanpa pemantul. Ini karena sudut matahari yang masih rendah terhalang oleh pohon besar dan rindang yang berada di depan bangunan selatan, sedangkan bangunan utara hanya terhalang oleh beberapa pohon yang jaraknya 4 m dari sisi tanpa koridor

4. Pada siang hari, penggunaan pemantul pada simulasi meningkatkan nilai intensitas cahaya jauh dibandingkan dengan kondisi eksisting, namun tidak jauh berbeda dengan simulasi tanpa pemantul. Hasilnya pun sangat terpenuhi dalam hal kenyamanan visual, bahkan jauh melebihi rentan 250-300 lux. Ini dikarenakan, sudut sinar matahari siang hari pada puncaknya (pukul 12.00 - 13.00), sehingga sudut datangnya sinar menuju objek menjadi maksimal untuk ditangkap mata serta bukaan-bukaan yang ada di SD Kwitang 8 PSKD ini adalah bukaan yang sangat lebar.
5. Karena nilai hasil simulasi sangat tinggi (melebihi nilai intensitas standar) maka nilai ini disesuaikan lagi dengan nilai hasil pengukuran eksisting. Hasil penyesuaian ini, penggunaan pemantul pada kedua sisi bangunan hanya mampu meningkatkan intensitas cahaya sehingga mencapai maksimal 190 lux pada siang hari
6. Penggunaan pemantul pada simulasi menurunkan intensitas cahaya papan tulis jika dibandingkan dengan kondisi eksisting dan simulasi tanpa pemantul. Ini dikarenakan, pemantul hanya meningkatkan nilai intensitas ruang kelas secara keseluruhan, tidak per-titik. Selain itu, pemasukkan cahaya untuk titik papan tulis terhalang adanya pintu tanpa bukaan cahaya.
7. Pemantul A meningkatkan intensitas cahaya lebih baik dibandingkan dengan pemantul B. Ini dikarenakan pemantul A memiliki sudut 45° sehingga sinar pantul memantul ke plafond koridor lebih baik untuk kemudian menuju ruangan dalam hal ini area diatas mata siswa. Sedangkan pemantul B dikarenakan sudutnya 30° , lebih mengarahkan sinar pantul ke plafond dengan sudut tinggi sehingga, diperlukan beberapa kali pemantulan sebelum masuk ke dalam ruangan.



4.3.3. SDN Depok 3

Tabel 4.5: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SDN Depok 3

		PAGI											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	80	85	87	80	84	82	83	79	79	84	85	81
	TANPA PEMANTUL	62	63	64	63	71	73	69	71	60	59	61	59
	PEMANTUL TIPE A	67	68	71	69	83	82	85	85	70	72	74	75
	PEMANTUL TIPE B	66	65	67	67	77	79	79	80	69	69	69	70
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	91	90	93	88	85	87	86	85	72	91	90	87
	TANPA PEMANTUL	81	80	80	84	86	87	88	91	86	86	89	89
	PEMANTUL TIPE A	76	77	77	83	84	87	87	94	85	86	87	94
	PEMANTUL TIPE B	77	77	80	84	85	87	87	93	84	85	87	93
		SIANG											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	179	183	180	172	202	203	200	199	203	215	212	201
	TANPA PEMANTUL	201	210	197	207	256	249	226	237	191	202	186	202
	PEMANTUL TIPE A	254	252	252	244	284	302	288	294	255	275	256	272
	PEMANTUL TIPE B	243	245	245	242	294	284	291	251	264	257	262	284
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	189	196	196	190	221	214	213	211	217	201	209	200
	TANPA PEMANTUL	302	301	296	295	337	325	319	320	332	333	325	319
	PEMANTUL TIPE A	308	306	293	298	340	336	332	344	343	343	337	336
	PEMANTUL TIPE B	300	300	298	300	323	346	340	331	326	337	334	334

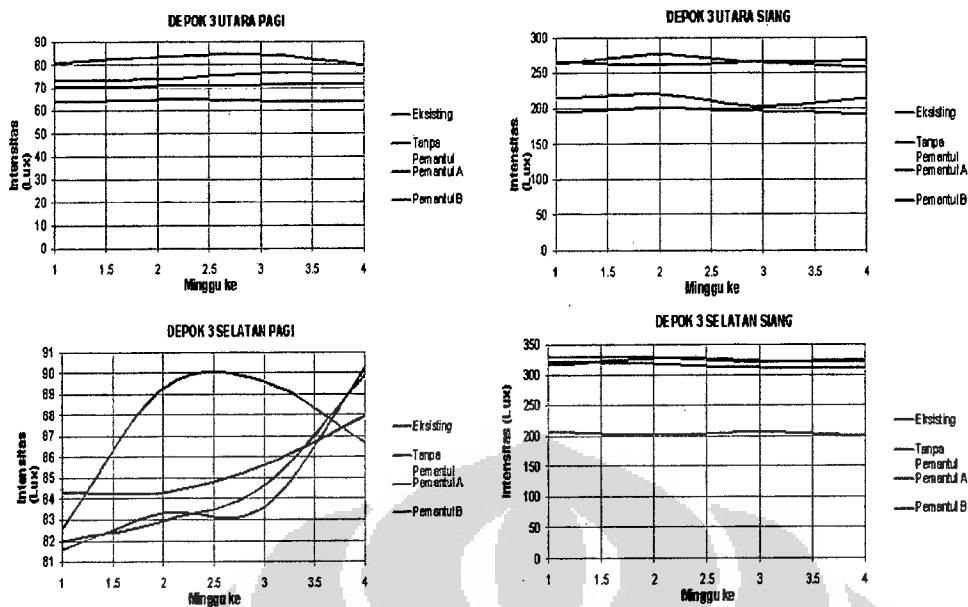
Tabel 4.5 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SDN Depok 3 untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik ukur dalam ruang kelas, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SDN Depok 3



Tabel 4.6: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SDN Depok 3

		PAGI											
		Tup				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	60	81	80	75								
	TANPA PEMANTUL	45	46	47	48	162	103	105	106	0.4	0.41	0.4	0.41
	PEMANTUL TIPE A	55	55	57	57	128	130	131	133	0.45	0.45	0.44	0.45
	PEMANTUL TIPE B	51	52	52	52	111	112	14	116	0.5	0.51	0.52	0.52
Selatan	EKSISTING	75	81	83	80								
	TANPA PEMANTUL	62	62	63	65	136	138	140	142	0.35	0.35	0.33	0.35
	PEMANTUL TIPE A	59	59	61	61	126	128	129	137	0.48	0.49	0.47	0.49
	PEMANTUL TIPE B	58	58	58	60	125	126	128	136	0.47	0.49	0.47	0.49
		SIANG											
		Tup				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	143	194	189	181								
	TANPA PEMANTUL	168	169	169	168	360	388	387	384	0.41	0.41	0.41	0.4
	PEMANTUL TIPE A	200	204	200	203	474	487	470	480	0.42	0.44	0.43	0.44
	PEMANTUL TIPE B	190	188	187	18	425	424	422	418	0.51	0.52	0.52	0.52
Selatan	EKSISTING	149	185	190	189								
	TANPA PEMANTUL	21	222	219	217	521	515	514	510	0.36	0.35	0.34	0.34
	PEMANTUL TIPE A	212	214	210	210	504	503	501	495	0.49	0.48	0.49	0.49
	PEMANTUL TIPE B	209	210	212	207	477	497	495	490	0.48	0.5	0.5	0.5

Tabel 4.6 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SDN Depok 3 untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik papan tulis, iluminansi rata-rata, serta tingkat pemerataan cahaya, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SDN Depok 3



Gambar 4.25: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SDN Depok 3

Gambar 4.25 menjelaskan perbandingan intensitas cahaya pada rata-rata titik ukur antara kondisi eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, pada SDN Depok 3, ruang kelas utara dan selatan, untuk kondisi pagi dan siang hari.

Analisis Hasil Simulasi pada Model Ruang Kelas SDN Depok 3:

1. Penggunaan pemantul pada simulasi meningkatkan intensitas cahaya baik pada kondisi eksisting maupun simulasi tanpa pemantul hanya pada siang hari (mencapai 40-60 lux per-titik). Pada pagi hari, penggunaan bidang pemantul sedikit menurunkan intensitas pencahayaan (10-20 lux)
2. Dalam hal distribusi intensitas (*uniformity*), penggunaan pemantul sedikit meningkatkan pemerataan cahaya (0.05-0.1). Dapat terlihat antara nilai intensitas tertinggi dan terendah tidak jauh berbeda (terlihat dari antara nilai Avrg dengan Eav tidak jauh berbeda). Namun untuk nilai pemerataannya tidak bisa menjadi patokan, karena tidak mungkin dalam perancangan pencahayaan alami, nilai pemerataannya sempurna 1 (satu). Yang mungkin adalah mendekati nilai 1 (satu)
3. Penggunaan pemantul pada simulasi bangunan selatan pagi hari penurunannya tidak terlalu besar (40-60 lux) dibandingkan dengan bangunan utara jika dibandingkan dengan kondisi eksisting dan simulasi tanpa pemantul. Ini karena



sudut matahari yang masih rendah terhalang oleh beberapa pohon yang berada di depan sisi tanpa koridor bangunan utara, sedangkan sisi koridor bangunan selatan tidak terhalang apapun.

4. Pada siang hari, penggunaan pemantul pada simulasi bangunan selatan mampu meningkatkan nilai intensitas cahaya lebih baik 40-60 lux dibandingkan dengan penggunaan pemantul pada simulasi bangunan utara. Ini diakibatkan karena sudut sinar datang matahari pada bangunan utara cenderung terhalangi oleh pohon yang ada di depan sisi tanpa koridor dan sisi koridor. Sedangkan pada bangunan selatan, kedua sisi cenderung tidak ada penghalang apapun.
5. Penggunaan pemantul pada simulasi meningkatkan intensitas cahaya papan tulis jika dibandingkan dengan kondisi eksisting dan simulasi tanpa pemantul pada siang hari. Sedangkan pada pagi hari, penggunaan pemantul justru sedikit menurunkan intensitas cahaya pada papan tulis. Ini dikarenakan, pemantul hanya meningkatkan nilai intensitas ruang kelas secara keseluruhan, tidak per-titik. Selain itu, pemasukkan cahaya untuk titik papan tulis terhalang adanya pintu tanpa bukaan cahaya.
6. Peningkatan intensitas cahaya papan tulis pada siang hari masih jauh dari nilai kenyamanan visual untuk papan tulis (450-500 lux)
7. Terkecuali pada salah satu kondisi (minggu ke-3) di pagi hari pada bangunan selatan, pemantul A meningkatkan intensitas cahaya lebih baik dibandingkan dengan pemantul B. Ini dikarenakan pemantul A memiliki sudut 45° , sehingga sinar pantul memantul ke arah plafond ruangan. Sedangkan pemantul B dikarenakan sudutnya 30° , lebih mengarahkan sinar pantul ke plafond dengan sudut tinggi sehingga, plafond koridor akan memantulkan kembali menuju area diatas mata siswa



4.3.4. SD Pemuda Bangsa

Tabel 4.7: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SD Pemuda Bangsa

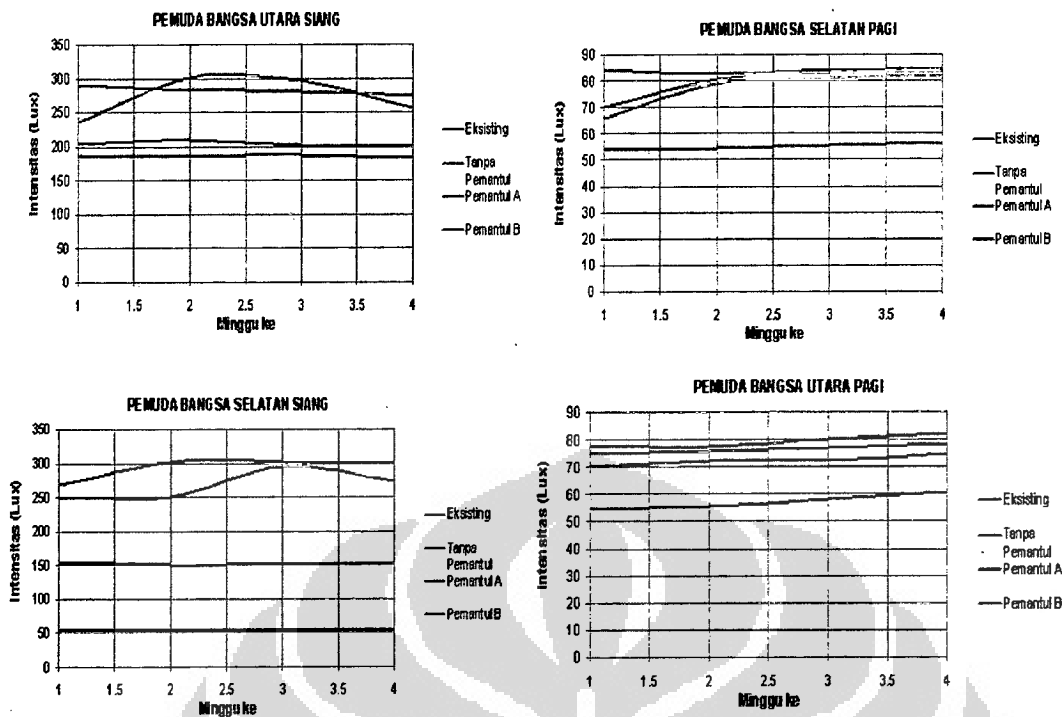
		PAGI											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	80	85	81	87	76	81	80	83	55	52	56	55
	TANPA PEMANTUL	50	50	54	55	64	65	66	71	51	52	55	57
	PEMANTUL TIPE A	68	72	72	73	91	91	92	95	75	70	78	80
	PEMANTUL TIPE B	63	65	68	69	89	90	90	92	74	73	74	75
		SIANG											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	214	211	215	209	203	201	203	198	146	146	148	146
	TANPA PEMANTUL	184	189	182	180	236	243	235	233	193	198	191	189
	PEMANTUL TIPE A	214	267	267	254	286	346	338	242	210	293	288	280
	PEMANTUL TIPE B	254	250	239	241	342	330	330	317	280	275	279	267
		SIANG											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	99	97	95	98	80	76	84	77	75	77	74	79
	TANPA PEMANTUL	50	51	51	54	57	57	59	59	55	57	57	58
	PEMANTUL TIPE A	60	71	74	75	70	88	89	90	69	79	82	81
	PEMANTUL TIPE B	65	72	75	75	74	89	90	92	73	82	84	84
		SIANG											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	191	187	188	185	150	152	150	154	126	116	119	119
	TANPA PEMANTUL	194	191	191	196	223	224	220	215	222	214	219	219
	PEMANTUL TIPE A	223	264	271	267	266	330	325	317	267	296	293	241
	PEMANTUL TIPE B	250	267	269	272	277	335	331	324	282	306	307	307

Tabel 4.7 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SD Pemuda Bangsa untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik ukur dalam ruang kelas, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SD Pemuda Bangsa

Tabel 4.8: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SD Pemuda Bangsa

		PAGI											
		Tup				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	65	80	78	82								
	TANPA PEMANTUL	39	39	40	40	66	67	68	69	0.36	0.36	0.37	0.36
	PEMANTUL TIPE A	40	40	41	41	119	120	122	123	0.29	0.28	0.28	0.28
	PEMANTUL TIPE B	37	38	38	38	116	117	119	120	0.34	0.34	0.34	0.34
		Tup				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	87	88	85	81								
	TANPA PEMANTUL	36	37	37	38	64	64	65	66	0.52	0.52	0.52	0.52
	PEMANTUL TIPE A	38	52	53	54	90	112	113	115	0.56	0.55	0.56	0.33
	PEMANTUL TIPE B	40	54	54	54	94	111	112	113	0.6	0.59	0.59	0.59
		SIANG											
		Tup				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	182	175	176	176								
	TANPA PEMANTUL	83	83	80	81	250	249	248	245	0.37	0.37	0.35	0.37
	PEMANTUL TIPE A	101	146	145	139	377	453	450	444	0.24	0.28	0.28	0.29
	PEMANTUL TIPE B	139	135	138	134	444	439	437	433	0.29	0.34	0.34	0.34
		Tup				Eav				Ug1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	186	183	183	180								
	TANPA PEMANTUL	101	101	99	98	248	247	245	242	0.52	0.52	0.52	0.52
	PEMANTUL TIPE A	130	191	188	134	341	19	417	433	0.56	0.56	0.57	0.34
	PEMANTUL TIPE B	145	191	189	188	355	414	412	409	0.59	0.59	0.59	0.6

Tabel 4.8 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SD Pemuda Bangsa untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik papan tulis, iluminansi rata-rata, serta tingkat pemerataan cahaya, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SD Pemuda Bangsa



Gambar 4.26: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SD Pemuda Bangsa

Gambar 4.26 menjelaskan perbandingan intensitas cahaya pada rata-rata titik ukur antara kondisi eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, pada SD Pemuda Bangsa, ruang kelas utara dan selatan, untuk kondisi pagi dan siang hari.

Analisis Hasil Simulasi pada Model Ruang Kelas SD Pemuda Bangsa:

1. Penggunaan pemantul pada simulasi meningkatkan intensitas cahaya baik pada kondisi eksisting maupun simulasi tanpa pemantul hanya pada siang hari (60-80 lux). Pada pagi hari, penggunaan bidang pemantul sedikit menurunkan intensitas pencahayaan jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, namun jika dibandingkan dengan hasil simulasi tanpa pemantul, penggunaan bidang pemantul ini tetap meningkatkan intensitas pencahayaan.
2. Dalam hal distribusi intensitas (*uniformity*), penggunaan pemantul sedikit menurunkan pemerataan cahaya. Namun pada sisi selatan, penggunaan pemantul tipe B sedikit meningkatkan pemerataan cahaya (mencapai 0.07-0.08). Penurunan dikarenakan Adanya intensitas yang tinggi pada daerah dekat jendela yang diakibatkan penggunaan bidang pemantul, sedangkan peningkatan diakibatkan oleh tidak terhalangnya sisi tanpa koridor bangunan selatan oleh dinding di depannya,



sehingga perbedaan antara intensitas tertinggi dengan intensitas terendah tidak terlalu jauh.

3. Penurunan intensitas cahaya akibat penggunaan bidang pemantul pada pagi hari jika dibandingkan dengan kondisi eksisting diakibatkan oleh pemantul yang justru menghalangi masuknya cahaya ke dalam bangunan, akibat sudut rendah sinar matahari, selain itu, pada kedua bangunan, tiap sisi utaranya cenderung terhalang benda lain, pada sisi tanpa koridor bangunan utara, pemantul terhalangi oleh bangunan dua lantai dibelakangnya, sementara sinar datang matahari bulan Maret, lebih condong ke arah utara. Pada sisi koridor bangunan selatan, sinar datang cenderung dihalangi oleh pohon besar di depan koridor
4. Pada siang hari, penggunaan pemantul pada simulasi sedikit meningkatkan nilai intensitas cahaya jika dibandingkan dengan kondisi eksisting dan hasil simulasi tanpa pemantul. Hasilnya mendekati pemenuhan kenyamanan visual (250-300 lux) yaitu maksimal 267 lux. Ini dikarenakan, sudut sinar matahari siang hari pada puncaknya (pukul 12.00 - 13.00), kurang signifikannya peningkatan ini diakibatkan karena sumber pemasukan cahaya untuk pemantul terhalang sesuatu, pada sisi tanpa koridor bangunan utara, pemantul terhalangi oleh bangunan dua lantai dibelakangnya, sementara sinar datang matahari bulan Maret, lebih condong ke arah utara. Pada sisi koridor bangunan selatan, sinar datang cenderung dihalangi oleh pohon besar di depan koridor
5. Penggunaan pemantul pada simulasi menurunkan intensitas cahaya papan tulis jika dibandingkan dengan kondisi eksisting dan simulasi tanpa pemantul (nilai maksimal hanya 146 lux). Ini dikarenakan, pemantul hanya meningkatkan nilai intensitas ruang kelas secara keseluruhan, tidak per-titik. Selain itu, pemasukkan cahaya untuk titik papan tulis terhalang adanya pintu tanpa bukaan cahaya.
6. Pemantul A meningkatkan intensitas cahaya sedikit lebih baik dibandingkan dengan pemantul B pada bangunan utara, sebaliknya pemantul B meningkatkan intensitas cahaya lebih baik dibandingkan dengan pemantul A pada bangunan selatan. Ini dikarenakan pemantul A memiliki sudut 45° . Pada sisi koridor bangunan utara, pemantul cenderung memantulkan sinar datang ke arah plafond ruangan. Sedangkan pada bangunan utara pemantul B lebih baik dikarenakan sudutnya 30° , pada sisi tanpa koridor, pemantul lebih mengarahkan sinar datang ke arah plafond ruangan dekat jendela, dimana pada titik tersebut cenderung lebih gelap dibandingkan dengan titik yang berlawanan dengannya yaitu sisi dengan koridor.



4.3.5. SDN Beji 4

Tabel 4.9: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur SDN Beji 4

		PAGI											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	71	75	75	79	84	88	586	89	63	66	65	68
	TANPA PEMANTUL	135	126	126	123	153	144	141	137	111	114	113	109
	PEMANTUL TIPE A	130	131	135	117	149	150	151	126	113	113	114	102
	PEMANTUL TIPE B	131	140	136	110	153	157	155	134	121	116	105	106
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	129	131	130	101	116	111	112	99	100	103	98	95
	TANPA PEMANTUL	118	119	120	117	134	133	138	133	107	109	109	106
	PEMANTUL TIPE A	87	130	133	114	95	144	145	124	82	112	114	103
	PEMANTUL TIPE B	95	95	143	119	104	104	154	130	82	82	120	104
		SIANG											
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	152	131	120	141	151	132	132	142	149	130	137	140
	TANPA PEMANTUL	436	440	444	456	497	495	504	496	385	394	393	393
	PEMANTUL TIPE A	500	489	487	517	576	550	563	557	430	449	427	426
	PEMANTUL TIPE B	508	492	506	467	567	573	548	510	427	424	427	388
		TUS d				TUU				TUS b			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	143	149	153	144	160	161	170	153	151	147	151	149
	TANPA PEMANTUL	458	450	453	461	523	506	498	516	406	409	401	418
	PEMANTUL TIPE A	353	491	488	501	396	525	535	549	308	429	434	446
	PEMANTUL TIPE B	376	530	527	530	382	572	567	581	324	443	441	440

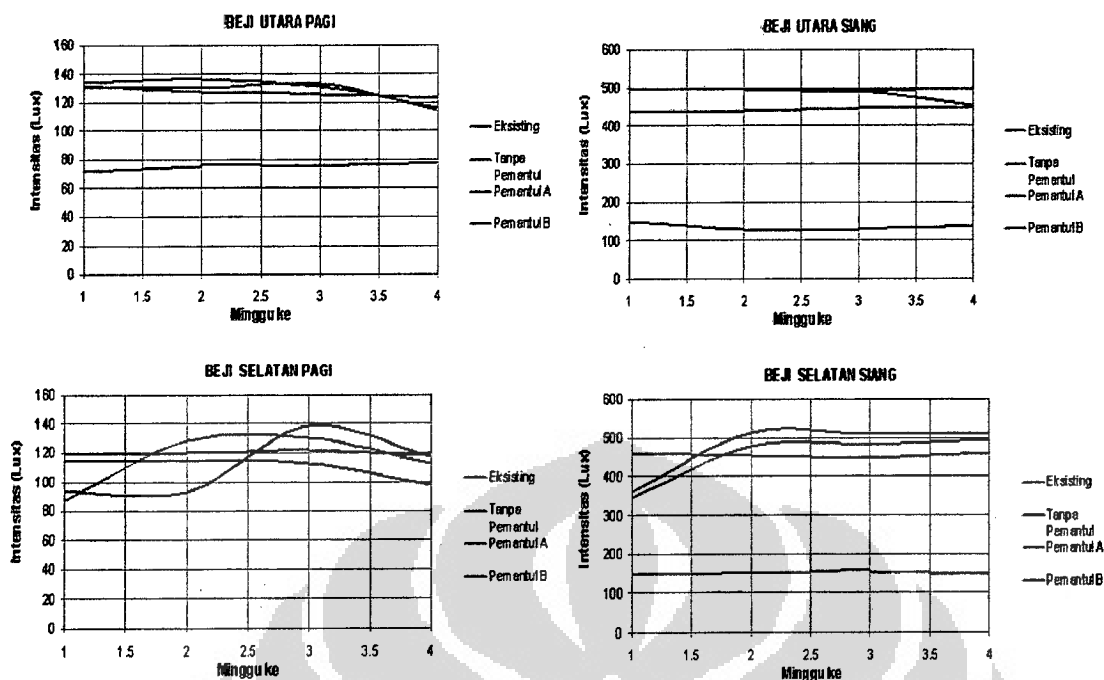
Tabel 4.9 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SDN Beji 4 untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik ukur dalam ruang kelas, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SDN Beji 4



Tabel 4.10: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya SDN Beji 4

		PAGI											
		Tup				Eav				U g1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	70	71	70	73								
	TANPA PEMANTUL	101	98	95	92	221	213	206	201	0.27	0.27	0.27	0.26
	PEMANTUL TIPE A	69	97	99	98	212	215	218	180	0.26	0.26	0.27	0.27
	PEMANTUL TIPE B	94	95	97	96	189	191	194	155	0.27	0.27	0.27	0.28
		TUp				Eav				U g1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	109	112	111	100								
	TANPA PEMANTUL	88	89	90	86	194	197	200	198	0.27	0.28	0.27	0.28
	PEMANTUL TIPE A	59	91	93	92	128	195	198	156	0.2	0.26	0.26	0.26
	PEMANTUL TIPE B	61	61	95	94	130	130	201	158	0.19	0.26	0.26	0.27
		SIANG											
		Tup				Eav				U g1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Utara	EKSISTING	163	142	154	146								
	TANPA PEMANTUL	312	315	318	321	714	720	725	731	0.27	0.27	0.27	0.28
	PEMANTUL TIPE A	348	346	344	353	806	805	799	821	0.26	0.26	0.26	0.27
	PEMANTUL TIPE B	337	337	337	305	713	712	711	641	0.27	0.27	0.27	0.27
		TUp				Eav				U g1			
		Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4	Minggu 1	Minggu 2	Minggu 3	Minggu 4
Selatan	EKSISTING	143	138	146	140								
	TANPA PEMANTUL	322	321	318	328	741	736	734	754	0.27	0.27	0.27	0.27
	PEMANTUL TIPE A	213	332	329	339	489	731	726	745	0.2	0.26	0.26	0.26
	PEMANTUL TIPE B	223	340	337	343	495	743	738	757	0.2	0.27	0.26	0.26

Tabel 4.10 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara dan selatan dari SDN Beji 4 untuk kondisi pagi dan siang hari, dimana perbandingan antara perhitungan eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula pada tiap titik papan tulis, iluminansi rata-rata, serta tingkat pemerataan cahaya, pada tiap tanggal pengukuran yang empat minggu selama bulan Maret. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap model ruang kelas SDN Beji 4



Gambar 4.27: Rata-rata Intensitas Cahaya pada Masing-masing Ruang Kelas Pagi dan Siang SDN Beji 4

Gambar 4.27 menjelaskan perbandingan intensitas cahaya pada rata-rata titik ukur antara kondisi eksisting, model ruang kelas tanpa pemantul, model ruang kelas dengan pemantul tipe A, serta model ruang kelas dengan pemantul tipe B, pada SDN Beji 4, ruang kelas utara dan selatan, untuk kondisi pagi dan siang hari.

Analisis Hasil Simulasi pada Model Ruang Kelas SDN Beji 4:

1. Penggunaan pemantul pada simulasi meningkatkan intensitas cahaya baik pada kondisi eksisting maupun simulasi tanpa pemantul (meningkat 70-100 lux). Namun dalam hal distribusi intensitas (*uniformity*), penggunaan pemantul justru mengurangi pemerataan cahaya jika dibandingkan dengan kondisi eksisting maupun simulasi tanpa pemantul. Ini diakibatkan karena tingkat pemerataan adalah dengan adanya pemantul, intensitas cahaya meningkat, hal ini terjadi pada setiap titik. Dan pada titik tertentu, terutama dekat jendela, terjadi peningkatan yang sangat signifikan (dikarenakan sinar pantul dari pemantul mengarah ke jendela). Dengan adanya peningkatan yang signifikan ini, terdapat ketimpangan antara nilai terendah dengan nilai rata-rata, yang mengakibatkan nilai pada tiap titik tidak mendekati sama.
2. Penggunaan pemantul pada simulasi meskipun meningkatkan intensitas cahaya namun intensitas cahaya yang dihasilkan masih jauh dari nilai kenyamanan (250-



- 300 lux) pada pagi hari. Ini bukan dikarenakan bidang pemantul, melainkan karena sudut sinar matahari pada pagi hari masih rendah, dan karenanya intensitas yang diterima objek tidak maksimal,
3. Penggunaan pemantul pada simulasi meningkatkan nilai intensitas cahaya mendekati nilai kenyamanan visual pada siang hari. Bahkan ada yang melampaui nilai kenyamanan ini (sampai 530 lux), Ini dikarenakan, sudut sinar matahari siang hari pada puncaknya (pukul 12.00 - 13.00)
 4. Penggunaan pemantul pada simulasi bangunan utara mampu meningkatkan nilai intensitas cahaya lebih baik dibandingkan dengan penggunaan pemantul pada simulasi bangunan selatan. Ini diakibatkan karena sudut sinar datang matahari khususnya bulan Maret, sinar cenderung condong ke arah utara, sementara pada bangunan selatan, sisi utaranya terdapat koridor. Dengan adanya koridor ini, sinar yang datang akan terhambat sebelum masuk ke dalam ruangan.
 5. Penggunaan pemantul pada simulasi hanya menurunkan nilai intensitas cahaya pada titik papan tulis. Ini dikarenakan, pemantul hanya meningkatkan nilai intensitas ruang kelas secara keseluruhan, tidak per-titik. Selain itu, pemasukkan cahaya untuk titik papan tulis terhalang adanya pintu tanpa bukaan cahaya.
 6. Pemantul B meningkatkan intensitas cahaya lebih baik dibandingkan dengan pemantul A. Meskipun pada bangunan selatan kondisi pagi hari, pemantul A lebih baik pada 2 minggu pertama bulan Maret. Ini dikarenakan pemantul B memiliki sudut yang lebih landai (30°) sehingga sudut pantul lebih diarahkan menuju plafond.

Tabel 4.11: Penentuan Pemantul

Pemantul Tipe A (Tabel Atas) dan Pemantul Tipe B (Tabel Bawah)

		Peningkatan Intensitas Cahaya		Peningkatan Intensitas Papan Tulis		Peningkatan Uniformity		TOTAL
		Pagi	Siang	Pagi	Siang	Pagi	Siang	
		Pemantul A	SDN Mekarjaya 27	+	+	+	+	
SD Kwitang 8 PSKD			+		+	+	+	
SDN Depok 3			+		++	+	+	
SD Pemuda Bangsa			+					
SDN Beji 4	+		+	+	+	+	+	
Sub Total	2		5	2	5	3	3	

		Peningkatan Intensitas Cahaya		Peningkatan Intensitas Papan Tulis		Peningkatan Uniformity		TOTAL
		Pagi	Siang	Pagi	Siang	Pagi	Siang	
		Pemantul B	SDN Mekarjaya 27	++	++	++	++	
SD Kwitang 8 PSKD			++		++	+	+	
SDN Depok 3			++		+	++	++	
SD Pemuda Bangsa			++			+	+	
SDN Beji 4	++		++	++	++	+	+	
Sub Total	4		10	4	7	5	5	



Tabel 4.11 menjelaskan bahwa penggunaan pemantul tipe B lebih meningkatkan intensitas cahaya titik ukur, intensitas cahaya area papan tulis, serta peningkatan pemerataan distribusi cahaya dari ruang kelas kelima studi kasus dibanding dengan pemantul tipe A.

4.4. Kesimpulan Analisis Hasil Simulasi Tahap I

1. Adanya perbedaan nilai intensitas antara hasil pengukuran kondisi eksisting dengan hasil simulasi tanpa pemantul mengakibatkan, nilai hasil simulasi (baik dengan pemantul maupun tanpa pemantul) harus disesuaikan (diturunkan) dengan menyamakan derajat nilai simulasi tanpa pemantul terhadap nilai pengukuran eksisting
2. Bidang pemantul hanya meningkatkan intensitas cahaya pada semua model ruang kelas eksisting. Namun nilainya belum efektif meningkatkan intensitas mencapai kenyamanan visual 250-300 lux (hanya mencapai 190-240 lux setelah dilakukan penyesuaian).
3. Bidang pemantul tipe apapun juga efektif meningkatkan kondisi pemerataan cahaya, hanya pada siang hari. Dalam hal ini, bidang pemantul tipe B lebih baik kinerjanya dibandingkan dengan bidang pemantul tipe A. Tingkat pemerataan ruang kelas hanya terwakili oleh nilai *uniformity* g1, dimana nilai yang baik adalah yang mendekati nilai 1 (satu).
4. Bidang pemantul yang paling meningkatkan intensitas (terutama pada siang hari) adalah bidang pemantul tipe B (Sudut 30° dengan bukaan pada plafond koridor dengan bukaan pada plafond koridor pada sisi koridor dan Sudut 0° + 30° pada sisi koridor dan sisi tanpa koridor di kedua ruang kelas utara dan selatan)
5. Pada pagi hari, bidang pemantul (tipe apapun) cenderung tidak berfungsi. Justru yang terjadi adalah dengan adanya bidang pemantul, kondisi pencahayaan ruang kelas menjadi lebih buruk dibandingkan jika tanpa pemantul.
6. Intensitas cahaya pada titik papan tulis cenderung sedikit mengalami perubahan dengan menggunakan bidang pemantul tipe B (sekitar 20%) dibandingkan dengan menggunakan bidang pemantul tipe A. Namun nilainya masih dibawah standar kenyamanan visual untuk titik papan tulis (450-500 lux)



BAB V USULAN PENGEMBANGAN

Pada tahap ini diusulkan pengembangan terhadap desain ruang kelas eksisting guna mencapai kenyamanan visual. Ini dikarenakan pada tahap simulasi sebelumnya, bidang pemantul dapat dianggap belum mampu dianggap meningkatkan kualitas kenyamanan visual, meskipun mampu meningkatkan intensitas pencahayaan.

5.1. Kelemahan pada Kondisi Eksisting dengan Pemantul

Kondisi eksisting bangunan yang kemudian disimulasikan sebagai model tanpa pemantul memiliki beberapa kelemahan yang dapat mengakibatkan ketidak mampuan bidang pemantul meningkatkan kualitas kenyamanan visual.

1. Tinggi Atap Koridor



Gambar 5.1: Ketinggian Plafond Koridor Setelah Pengaplikasian Bidang Pemantul

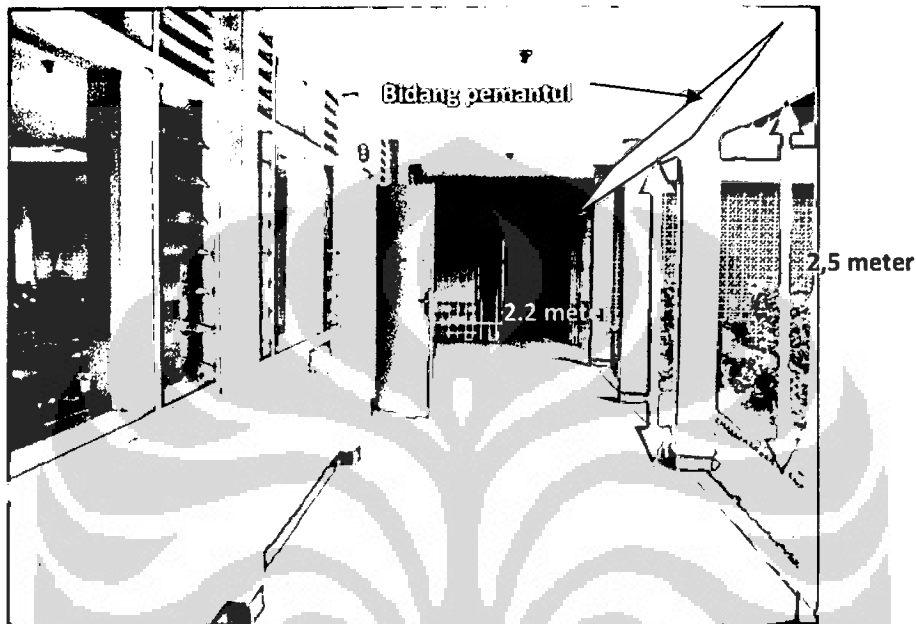
Dengan adanya kemiringan atap dan penerusan atap dari struktur atap ruangan maka ketinggian atap koridor semakin tertekan dibandingkan dengan ketinggian pada plafond ruangan. Jika ketinggian plafond ruangan adalah 3 meter, maka dengan adanya penerusan tersebut maka ketinggian plafond koridor adalah 2,2 – 2,5 meter.

Dengan ketinggian yang cukup rendah ini, maka pemantul pada bukaan atap koridor tidak bisa terlalu lebar, karena ketinggian yang cukup aman dari jangkauan



kepala manusia adalah harus lebih dari 2,2 meter atau ketinggian diatas lubang pintu.

Sedangkan pada kasus SD Kwitang 8 PSKD, dimana atap koridor menggunakan atap datar (dak beton), ketinggian yang digunakan (2,5 meter) tidak cukup memberikan ruang yang cukup untuk meletakkan pemantul karena antara ketinggian bebas 2,2 meter dan ketinggian atap 2,5 meter hanya tersisa 30 cm.



Gambar 5.2: Ketinggian Plafond Koridor pada SD Kwitang 8 PSKD

Pemantul yang bisa diaplikasikan pada kasus diatas tidak bisa selebar pemantul pada keempat kasus yang lain. Ruang yang tersisa diatas batas ketinggian aman (2,2 meter) tidak cukup untuk memperbesar lebar bidang pemantul).

2. Luasan Jendela

Pada bangunan sekolah SD Pemuda Bangsa dan SDN Mekarjaya 27, jendela hanya terdapat pada salah satu sisi ruangan yang terdapat koridor. Pada sisi sebaliknya hanya terdiri dari jendela atas. Ini menyebabkan sinar hanya efektif masuk dari salah satu sisi ruangan saja, sementara pada sisi yang sebaliknya cenderung mengalami kegelapan. Hal ini mengakibatkan ketidakmerataan penyebaran cahaya, yang menurunkan intensitas pencahayaan rata-rata.



Gambar 5.3: Jendela pada Salah Satu Sisi Ruang Kelas SD Pemuda Bangsa

Pada gambar 5.3, dapat terlihat penggunaan jendela atas pada salah satu sisi ruangan menyebabkan menurunnya intensitas ruangan. Daerah yang paling kekurangan berada di tepi dinding dengan bukaan jendela atas tersebut

3. Luasan dan Jenis Jendela atas

Bidang pemantul mengarahkan cahaya matahari kedalam ruangan melalui bagian atas jendela (jendela atas) untuk menghindari terjadinya glare apabila diarahkan melalui jendela. Namun kondisi ini tidak difasilitasi dengan kondisi luasan dan jenis jendela atas yang cukup. Ketinggian jendela atas hanya 40 cm, pada semua studi kasus, selain itu lubang bukaan jendela atas bukan berupa kaca bening, melainkan kisi-kisi. Ini sudah tentu akan menghalangi masuknya cahaya dari pemantul. Kondisi tersebut berlaku pada semua studi kasus.

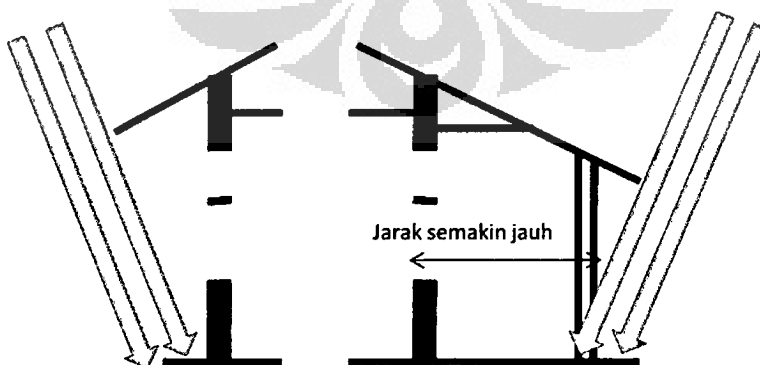


Gambar 5.4: Jenis Jendela Atas pada Kelima Studi Kasus
(dari kiri atas searah jarum jam: SD Pemuda Bangsa, SDN Depok 3,
SDN Mekarjaya 27, SDN Beji 4, SD Kwitang 8 PSKD)

Pada gambar 5.4, semua jendela atas dari kelima studi kasus berjenis kisi-kisi. Adanya kisi-kisi ini menjadi penghalang bagi penetrasi cahaya pantul dari bidang pemantul.

4. Lebar Teritisan Bangunan

Adanya teritisan yang terlalu lebar mengakibatkan sinar dari matahari yang dipantulkan pemantul akan semakin jauh dari plafond ruangan. Akibatnya bisa berupa pemantulan berkali-kali yang berakibat energi cahaya yang terpantulkan tersebut semakin mengecil sebelum sampai ke objek.



Gambar 5.5: Pengaruh Lebar Teritisan Terhadap Penetrasi Cahaya Alami



Dengan adanya teritisan, membuat sumber cahaya terang langit semakin jauh untuk penetrasi menuju ruangan melalui lubang cahaya.

Pada kasus SD Kwitang 8 PSKD, teritisan yang digunakan sangat lebar, mencapai 1,1 meter. Disamping itu, koridor terlalu lebar. Dengan semakin lebarnya kedua sistem pembayangan ini, membuat jarak antara lubang cahaya efektif dengan luar ruangan semakin jauh. Sedangkan keempat studi kasus yang lain memiliki lebar teritisan yang hampir sama, sekitar 80 cm.



Gambar 5.6: Teritisan SD Kwitang 8 PSKD

Pada gambar 5.6 terlihat penggunaan teritisan yang cukup lebar memang disarankan pada setiap bangunan di daerah tropis guna menjadi pembayang dan pelindung dari hujan. Namun ini kontradiktif dimana semakin lebar teritisan, kemungkinan intensitas cahaya ruang menjadi turun adalah besar.

5. Objek di Sekitar Bangunan

Pada SD Pemuda Bangsa dan SDN Mekarjaya 27, ruang kelas utara, terdapat dinding ketinggian sekitar tiga lantai dengan jarak dari bukaan 1,5 meter. Material dari dinding berupa material unfinished. Sementara itu, jenis bukaan yang berhadapan dari dinding hanya berupa jendela atas. Sehingga semakin mengurangi masuknya cahaya ke dalam ruangan.

Pada kasus SD Kwitang 8 PSKD, terdapat pohon dengan diameter sekitar 4 meter dan ketinggian sekitar 6 meter, yang berada 2,5 meter dari tepi koridor.



Keberadaan pohon ini sedikit mengganggu penetrasi cahaya kepada ruang kelas selatan pada posisi matahari bulan April- September dan ruang kelas utara pada posisi matahari bulan Oktober-Februari. Gangguan ini terjadi kepada penetrasi cahaya dari arah koridor masing-masing ruang kelas. Pada sisi yang berlawanan, ruang kelas utara cenderung tidak mengalami permasalahan, karena deretan pohon berada 3 meter didepan bukaan tanpa koridor ruang kelas utara. Sedangkan pada ruang kelas selatan, bukaan pada sisi tanpa koridor seikit terhalangi dengan adanya bangunan setinggi 3 lantai pada jarak 5 meter.



Gambar 5.7: Pohon Diantara Ruang Kelas Utara dan Selatan SD Kwitang 8 PSKD

Pada gambar 5.7, pohon besar diantara ruang kelas utara dan selatan cukup menjadi penghalang penetrasi cahaya menuju ruangan. Ditambah pula dengan keberadaan koridor membuat cahaya yang masuk dari arah yang berhadapan dengan kedua koridor ini semakin lemah.

Pada SDN Depok 3, ruang kelas utara, terdapat pohon berdiameter sekitar 2 meter dan tinggi sekitar 3 meter. Pohon ini tidak beresiko menghalangi masuknya cahaya menuju pemantul koridor, namun, cukup mengurangi cahaya difusi dari luar ruangan. Untuk SDN Beji 4, cenderung tidak ada penghalang dari objek di luar bangunan.



6. Penempatan Bidang Pemantul

Bidang pemantul yang diterapkan pada kelima studi kasus didasarkan atas simulasi *ray-tracing* untuk sudut sinar datang matahari pada posisi matahari bulan Maret. Pada bulan tersebut, matahari cenderung berada tegak lurus diatas Kota Depok, sehingga, sinar langsung matahari cenderung memberikan pembayangan pada bangunan, bukan membentuk sudut pemantulan.

Selain itu, meskipun pemantul membentuk sudut, namun akibat penempatan yang tidak menempel pada bukaan karena pemantul tidak boleh terhalangi teritisan terutama pada sisi tanpa koridor ruangan kelas. Karena hal tersebut sinar pantul sulit diarahkan ke plafond ruangan, terutama plafond ruangan bagian tengah. Sinar pantul cenderung mengarah ke area di atas mata pengguna, dan memiliki kecenderungan menghasilkan glare.

7. Area Papan Tulis

Intensitas cahaya pada papan tulis pada semua studi kasus tidak dapat mencapai nilai optimum 400-500 lux. Pintu masuk yang berada di samping selalu dalam kondisi tertutup, karena jika dalam keadaan terbuka dikhawatirkan akan mengganggu konsentrasi belajar siswa, namun hal ini justru menahan cahaya untuk menerangi area papan tulis. Begitu pula sisi yang berhadapan dengan pintu yang berupa dinding tanpa bukaan, semakin mengurangi cahaya guna menerangi area papan tulis.

Dari tujuh temuan kelemahan kondisi eksisting dengan pemantul diatas, ada beberapa temuan yang secara signifikan menghambat tercapainya kenyamanan visual, yaitu: tinggi atap koridor untuk penempatan pemantul, luasan dan jenis jendela atas sebagai lubang bukaan untuk penetrasi cahaya pantul, teritisan yang terlalu lebar sehingga menghalangi pemantul, dan objek di luar pemantul yang menghalangi cahaya matahari mencapai bidang pemantul dan lubang bukaan cahaya.

5.2. Prinsip Pencahayaan Alami Tidak Langsung pada Kondisi Eksisting

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, temuan-temuan diatas akan dianalisis berdasarkan prinsip pencahayaan alami tidak langsung. Prinsip-prinsip ini akan mengevaluasi temuan dan mengontrol usulan pengembangan. Beberapa prinsip yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi eksisting yaitu:



1. Penerimaan Cahaya

Proses penerimaan cahaya oleh bidang pemantul dapat dikatakan sempurna apabila cahaya matahari dapat diterima oleh bidang pemantul tanpa ada bayangan apapun yang berada di atas atau sekitar bidang pemantul yang posisinya lebih tinggi dari bidang pemantul tersebut.

Penerimaan cahaya juga diakibatkan pemantulan objek lain yang berada di atas atau sekitar bidang pemantul yang posisinya lebih tinggi dari bidang pemantul (Lechener, 1991). Semakin tinggi nilai reflektivitas material objek lain tersebut, semakin besar pengaruhnya terhadap penerimaan cahaya untuk bidang pemantul.

Sinar matahari pada posisi matahari bulan April- September akan terhalangi objek diluar pemantul pada posisi utara bukaan. Sinar matahari pada posisi matahari bulan Oktober-Februari akan terhalangi objek diluar pemantul pada posisi selatan bukaan. Sedangkan jatuhnya sinar matahari pada posisi matahari bulan Maret cenderung tidak mengalami hambatan.

2. Pemantulan Cahaya

Pemantulan yang diinginkan adalah gabungan antara pantulan sempurna dan difusi. Pemantulan sempurna memantulkan sinar matahari sesuai dengan sudut datangnya setiap waktu. Pemantulan difusi memantulkan sinar yang berasal dari terang langit (bukan cahaya langsung). Oleh karena itu, bidang pemantul harus disesuaikan dengan posisi matahari dengan sudut datang pada setiap waktu. Dalam hal ini bisa digunakan sudut datang pada arah utara, tegak lurus bangunan, serta arah selatan posisi matahari terhadap bangunan.

Namun kemampuan sebuah material memantulkan cahaya masih ditentukan dengan ada atau tidaknya debu dan kotoran lain yang berada di permukaan bidang pemantul. Debu dan kotoran lain sangat berpotensi menurunkan nilai reflektivitas bidang pemantul. Keberadaan kotoran semakin meningkat ketika bidang pemantul diletakkan pada eksterior ruangan atau bagian bangunan yang tidak ternaungi atap. Untuk itu, sebaiknya material reflektif ini harus dapat di bongkar pasang untuk memudahkan perawatan berkala.

3. Penetrasi Cahaya Menuju Ruang

Cahaya yang diterima pemantul, disalurkan menuju ke ruangan melalui jendela atas (*boven licht*). Pemasukkan cahaya melalui lubang jendela atas agar cahaya pantulan dapat dengan mudah diarahkan ke plafond ruangan, selain itu dengan diarahkannya cahaya pantul menuju plafond berarti menghindarkan pengguna



ruangan dari glare. Karena fungsinya sangat vital bagi bidang pemantul dan berfungsi juga sebagai ventilasi ruangan, jendela bagian atas bukan berupa kisi-kisi atau objek lain yang berpotensi menghalangi masuknya cahaya pantulan, melainkan benda tembus cahaya yang dapat pula di atur agar tetap bisa dilalui angin. Sehingga kedua fungsi tersebut tetap dapat berlangsung secara bersamaan.

Cahaya yang masuk dari bukaan jendela bawah dapat dikatakan sebagai sumber cahaya utama ruangan, karena luasan jendela bawah pada umumnya lebih besar dibanding jendela bagian atas. Luasan jendela bawah (untuk kemudian lebarnya diikuti oleh jendela atas) menurut Santosa, 2007, adalah hasil perbandingan dengan luas lantai ruangan, yaitu 1:5.

4. Pendistribusian Cahaya Dalam Ruangan

Menurut Egan, 2002, Kualitas pencahayaan yang baik dalam sebuah ruangan adalah pencahayaan yang merata. Untuk itu menjadi merata, diperlukan distribusi yang baik. Setelah sinar pantul mencapai plafond, proses distribusi ini akan bekerja. Ditambah pula dengan cahaya difusi dari bukaan jendela bawah. Untuk itu, cahaya pantul dan cahaya terang langit sebaiknya harus mencapai bagian tengah ruangan. Penumpukan intensitas cahaya yang biasa terjadi di tepi bukaan hanya akan mengacaukan konsentrasi penyebaran cahaya.

5. Penghilangan Efek Negatif

Untuk menghindarkan silau, Sastrowinoto (1985) memaparkan beberapa prinsip yang dapat diterangkan sebagai berikut:

- a. Semakin pendek waktu menatap silau, tahap adaptasi alami semakin cepat tercapai.
- b. Derajat dari silau tergantung pada cerah relatif dari sumbernya. Ia meningkat dengan meningkatnya area sumber sinar dan paling celaka kalau sumber sinar itu dekat dengan garis pandang.
- c. Sumber sinar di atas garis pandang tidak begitu memuakkan daripada yang terletak di samping atau di bawahnya.

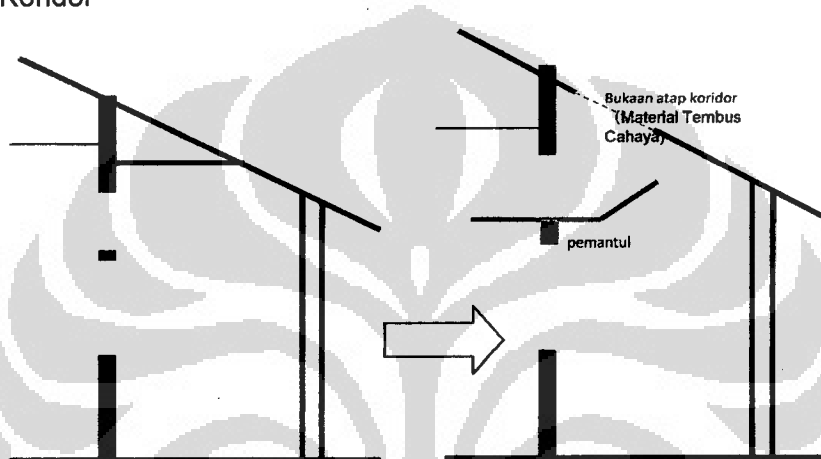
Keempat poin pertama mulai dari penerimaan cahaya hingga pendistribusian cahaya dalam ruang adalah suatu proses berurutan dari pencahayaan alami tidak langsung. Sedangkan poin ke lima, penghilangan efek negatif merupakan syarat pelengkap demi tercipta kenyamanan visual.



5.3. Usulan Pengembangan Kondisi Eksisting

Berdasarkan prinsip pencahayaan alami tidak langsung diatas, maka dapat disimpulkan beberapa pengembangan yang dapat dilakukan terhadap kondisi eksisting guna tercapai kenyamanan visual. Pengembangan disini bukan berarti perubahan secara ekstrim, melainkan hanya penambahan dan atau pengurangan beberapa elemen pada bangunan eksisting

1. Tinggi Atap Koridor



Gambar 5.8: Usulan Perubahan Plafon Koridor

Dikarenakan hanya pengembangan, maka ketinggian dari plafond koridor tidak bisa dirubah. Yang bisa dilakukan untuk mengoptimalkan pemantul pada korior adalah merubah mempertinggi posisi pemantul sehingga posisinya mendekati ke jendela atas. Dengan mempertinggi, berarti bidang pemantul dapat diperlebar luasannya. Ketinggian yang dapat dimaksimalkan mencapai 220 cm atau jarak bebas terhadap orang dewasa. Sedangkan bidang pemantul yang dapat diaplikasikan 50% lebih luas permukaannya dibanding sebelumnya. Selain itu, dengan mempertinggi pemantul, bukaan bisa diperluas, sehingga, cahaya matahari yang bisa diterima pemantul menjadi lebih banyak.

2. Luasan Jendela

Lebar bukaan ditambah dengan memberi bukaan pada sisi dengan dinding, terutama pada sisi samping papan tulis yang berhadapan dengan pintu. Begitu pula pintu yang diberi bukaan tidak tembus visual namun tembus cahaya agar sisi papan tulis dapat tersinari cahaya namun tetap dari sisi luar tidak bisa memandang ke dalam (samar).



3. Luasan dan Jenis Jendela Atas

Luasan dari jendela atas tidak dapat dirubah karena merubah luasan dengan menaikkan tinggi jendela atas akan merubah dinding secara ekstrim. Perubahan hanya dilakukan dengan mengganti pengisi jendela atas menjadi kaca nako. Dengan kaca nako ini, cahaya tetap dapat menembus, udara juga dapat mengalir

4. Lebar Teritisan Bangunan

Pada usulan ini, teritisan justru diperpendek jaraknya, kecuali teritisan untuk koridor. Hal ini dilakukan guna mengurangi penghalang bagi penerimaan cahaya untuk pemantul. Peran teritisan sebagai elemen pembayang dan perlindungan dari hujan terhadap bukaan bisa tergantikan oleh pemantul itu sendiri, karena letak pemantul berada diatas jendela. Teritisan akan dipotong menjadi sekitar hanya 20-30 cm dari dinding. Sedangkan untuk jendela atas, tidak perlu diberikan pembayangan karena sinar matahari langsung akan tertahan oleh pemantul interior dan justru memantul kembali menuju plafond atau area diatas mata. Sementara untuk perlindungan terhadap air hujan, sifat *louvre* dari kaca nako pada jendela atas akan dengan sendirinya menahan cipratan air masuk ke dalam ruangan

5. Objek di Sekitar Bangunan

a. Vegetasi

Vegetasi yang berada di sekitar koridor dan bukaan sebaiknya tidak lebih tinggi dari batas bawah bukaan (sekitar 100 cm) agar tidak menghalangi masuknya cahaya baik yang melalui jendela, ataupun melalui pemantul. Untuk vegetasi disekitar bangunan yang tingginya melebihi bangunan, agar dahannya tidak menghalangi jatuhnya cahaya menuju pemantul. Untuk mengurangi pantulan horizontal dari luar bangunan digunakan permukaan rumput pada area sekitar bangunan.

b. Jarak Bebas Antar Bangunan

Yang dimaksud jarak bebas dalam pengembangan ini adalah jarak yang harus diaplikasikan antara dinding luar ruang kelas dengan dinding bangunan lain. Yang terpenting adalah jarak guna cahaya matahari pada sudut VSA utara, selatan, dan tegak lurus bangunan dapat menuju pemantul tanpa ada halangan. Selain itu jarak bebas selain untuk sinar datang bagi pemantul diperuntukkan juga untuk cahaya diffuse bagi jendela.



6. Warna Material Ruang Kelas

Warna yang digunakan pada material ruang kelas ini adalah warna yang memiliki reflektivitas baik namun dengan nilai *shinnes* yang kecil, kecuali untuk furniture, papan tulis, dan lantai.

Elemen yang perlu diperhatikan penggunaan warna dan materialnya adalah

a. Plafond

Dikarenakan cahaya pantulan dari pemantul diarahkan menuju plafond, maka warna yang digunakan harus bisa memantulkan cahaya tersebut ke bawah plafond secara difuse, bukan secara langsung. Dapat digunakan warna dengan reflektivitas antara 70%-80% namun dengan tingkat *shinnes* yang rendah. Ini dimaksudkan agar tidak terjadi glare akibat pemantulan tersebut. Warna cerah *doff* adalah salah satunya.

b. Lantai

Agar akibat pantulan sinar tidak terjadi glare maka lantai sebaiknya bukan berupa keramik mengkilap. Hal ini dapat mempengaruhi konsentrasi belajar siswa. Selain itu penggunaan warna gelap *doff*, mampu meredam pantulan menuju mata siswa

c. Dinding

Dinding memiliki peran yang besar dalam pendistribusian cahaya dalam ruang. Untuk itu, sama seperti plafond, warna yang digunakan pada dinding adalah warna cerah *doff* (namun tingkat kecerahannya dibawah warna plafond – agar konsentrasi siswa tidak terganggu). *Doff* disini berarti tingkat *shinnes* atau kemengkilapan suatu warna adalah rendah (reflektivitas 60%-70%).

d. Furniture

Sama seperti lantai, dikarenakan furniture terutama meja, menjadi objek yang dilihat siswa pada saat membaca dan mengerjakan tugas, maka warna dari furniture haruslah yang gelap *doff* (nilai reflectivity 40%-50%), sehingga mampu mengurangi glare akibat pendistribusian ruangan dalam ruangan.

5.4. Analisis Bentuk dan Komposisi Pemantul Tahap II (Hasil Simulasi *Ray-Tracing*)

Sama seperti simulasi tahap pertama, simulasi usulan desain ini didahului dengan simulasi menggunakan software AutoCAD 2007 yaitu proses *ray-tracing*. *Ray-*

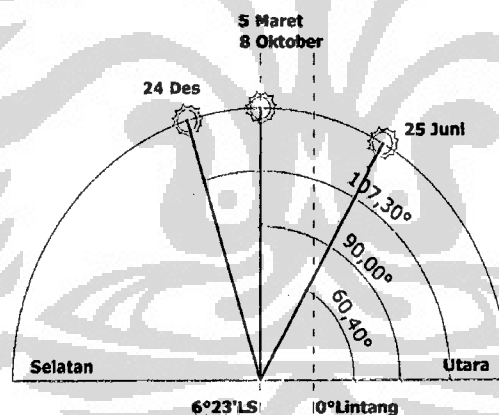


tracing dilakukan terhadap model standar ruang kelas yang telah disesuaikan dengan aspek-aspek pengembangan kondisi eksisting. Dikarenakan proses *ray-tracing* hanya dilakukan pada dua dimensi, maka aspek-aspek pengembangan kondisi eksisting yang dapat diterapkan dalam model adalah aspek yang berkaitan dengan ruangan. Bukan aspek seperti objek di luar ruangan.

Pemantul diletakkan pada bukaan samping, di bagian atas jendela/pintu atau pada ketinggian 220 cm dari lantai. Pemantul pada sisi koridor tidak terletak di luar koridor, melainkan menempel pada sisi dinding. Pada pemantul sisi ini, atap koridor diberi bukaan agar cahaya dapat diterima oleh pemantul. Pada bukaan atap, pemantul diletakkan dibawah bukaan menggantung kepada struktur atap.

Variabel yang digunakan dalam *ray-tracing* ini adalah variabel sudut pemantul serta kombinasi antara pemantul eksterior dan pemantul interior⁴³. Sudut yang digunakan adalah sudut 0° , 30° , 45° , serta pemantul *anidolic*⁴⁴.

Sudut sinar datang yang digunakan dalam *ray-tracing* tahap kedua ini adalah sudut sinar datang pada posisi matahari di utara (25 Juni), selatan (24 Desember), dan tegak lurus bangunan (5 Maret dan 8 Oktober).



Gambar 5.9: Sinar Datang (VSA) yang Digunakan Pada Simulasi Ray-tracing Tahap II

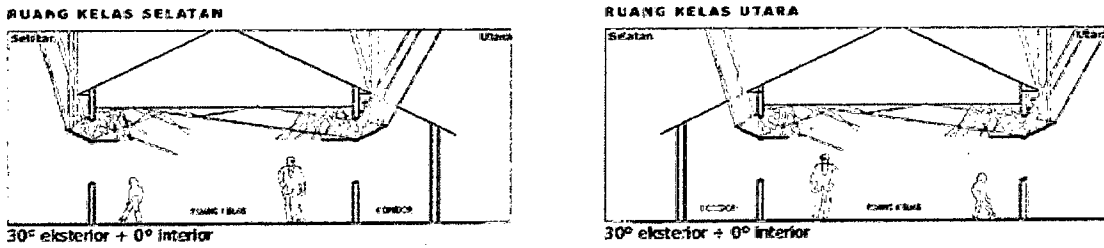
Sudut sinar matahari yang diambil adalah sudut VSA (*Vertical Shadow Angle*) pada keadaan matahari puncak (*high noon*) yaitu sudut 60.4° pada tanggal 25 Juni, 90° pada tanggal 5 Maret serta 8 Oktober, dan 107.3° pada tanggal 24 Desember dari utara. Posisi Matahari arah utara mewakili periode Maret-Oktober dan posisi matahari arah selatan mewakili periode Oktober-Maret

⁴³ Pemantul Eksterior adalah pemantul yang terletak di luar ruangan, berfungsi mengalihkan (memantulkan) sinar matahari menuju ruangan. Pemantul Interior adalah pemantul yang terletak di dalam ruangan, berfungsi mengarahkan sinar pantulan menuju bagian dalam ruangan, sehingga sinar pantul tidak jatuh di dekat jendela.

⁴⁴ Anidolic adalah pemantul berbentuk parabolic atau cermin cembung (menurut Wikipedia.org, 2007)

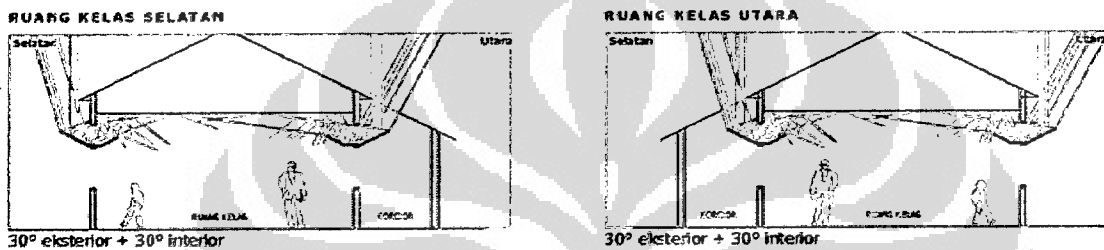


1. Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 0°



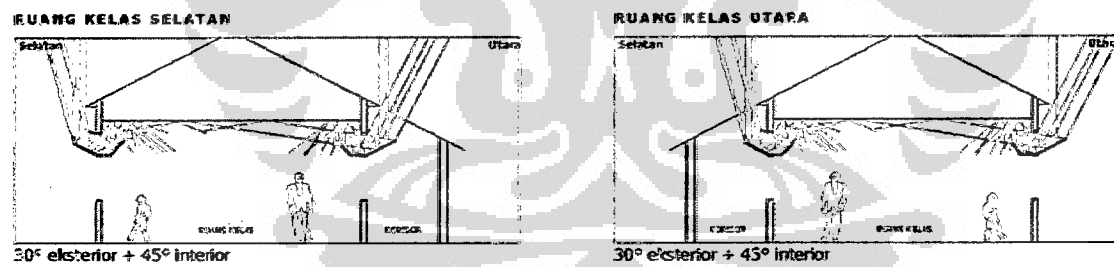
Gambar 5.10: Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 0°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

2. Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 30°



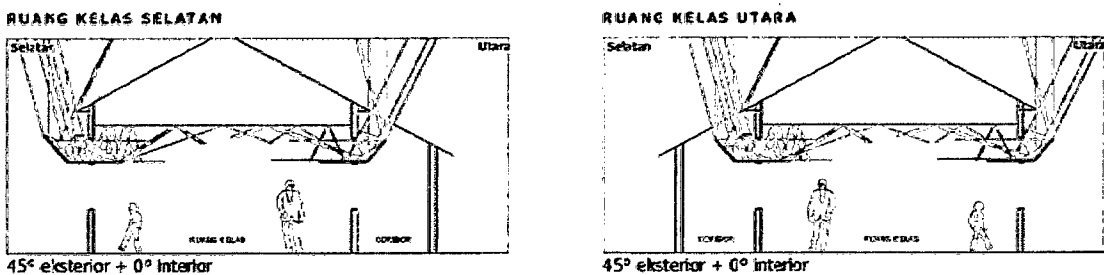
Gambar 5.11: Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 30°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

3. Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 45°



Gambar 5.12: Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 45°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

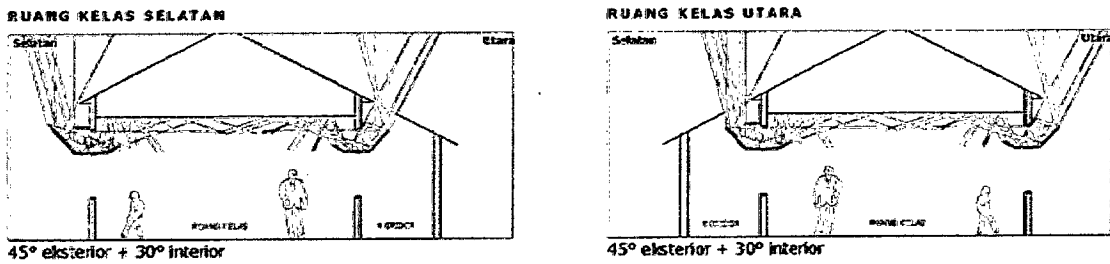
4. Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 0°



Gambar 5.13: Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 0°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

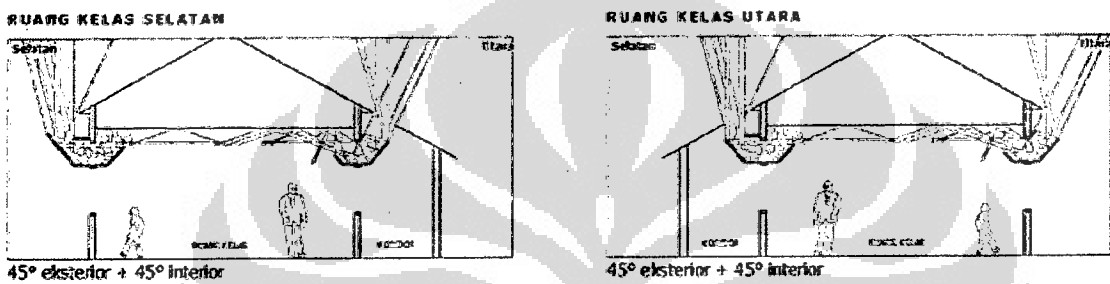


5. Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 30°



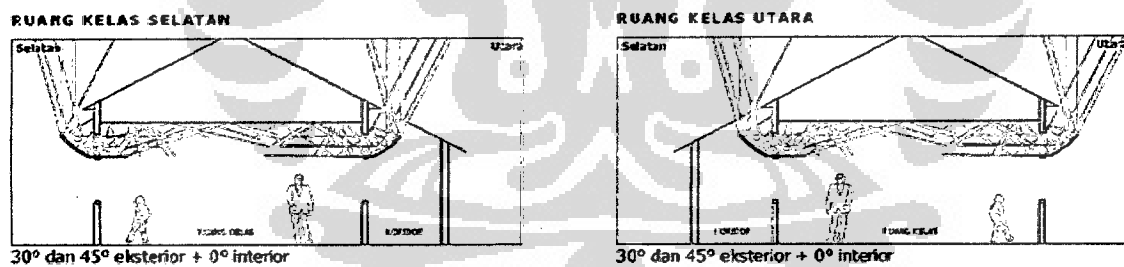
Gambar 5.14: Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 30°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

6. Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 45°



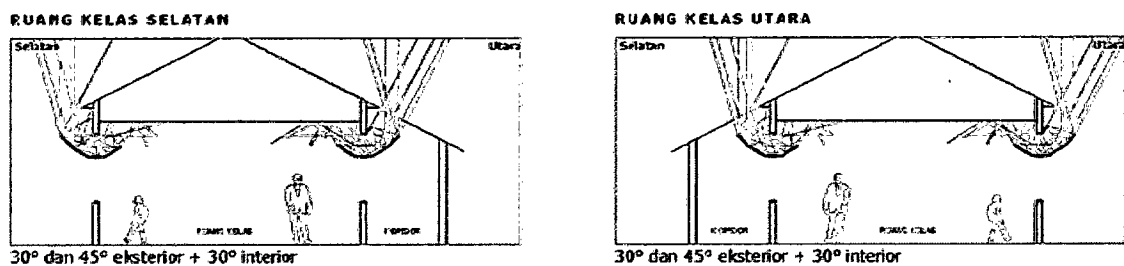
Gambar 5.15: Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 45°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

7. Pemantul eksterior sudut $30^{\circ} + 45^{\circ}$ dan pemantul interior 0°



Gambar 5.16: Pemantul eksterior sudut $30^{\circ} + 45^{\circ}$ dan pemantul interior 0°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

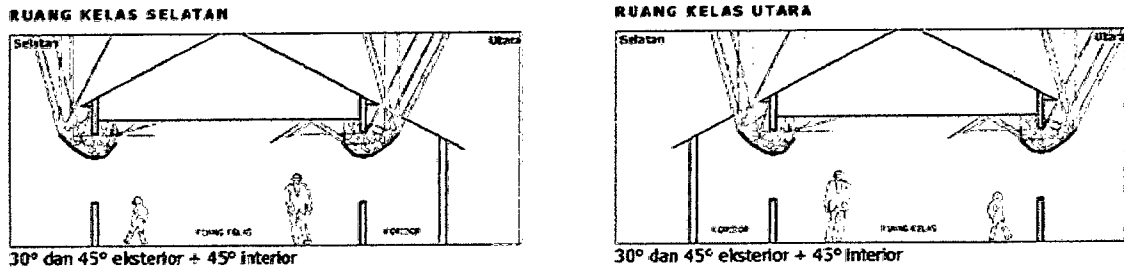
8. Pemantul eksterior sudut $30^{\circ} + 45^{\circ}$ dan pemantul interior 30°



Gambar 5.17: Pemantul eksterior sudut $30^{\circ} + 45^{\circ}$ dan pemantul interior 30°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

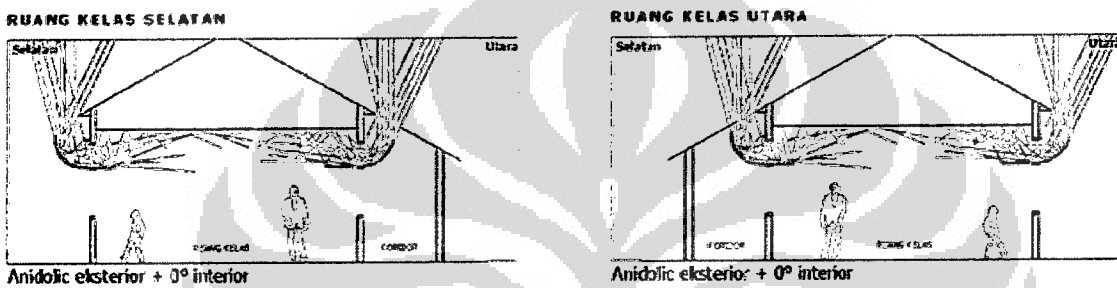


9. Pemantul eksterior sudut $30^{\circ} + 45^{\circ}$ dan pemantul interior 45°



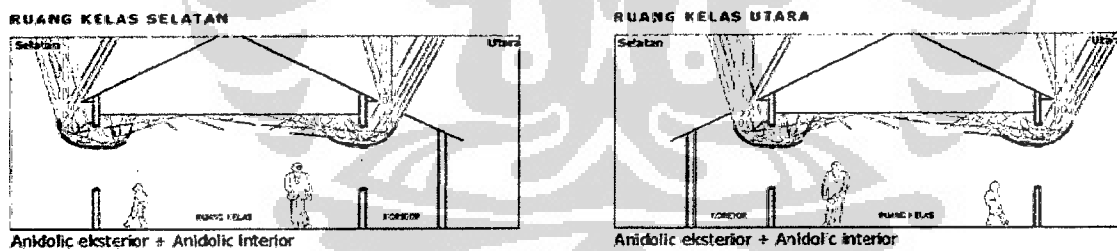
Gambar 5.18: Pemantul eksterior sudut $30^{\circ} + 45^{\circ}$ dan pemantul interior 45°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

10. Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior 0°



Gambar 5.19: Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior 0°
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

11. Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior *anidolic*



Gambar 5.20: Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior *anidolic*
 Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

5.4.1. Hasil Analisis *Ray-Tracing* Tahap II

Berdasarkan simulasi *ray-tracing* diatas, maka akan dipilih masing dua buah pemantul pada dua sisi; utara dan selatan, untuk memaksimalkan cahaya yang terpantulkan menuju plafond. Beberapa kriteria yang digunakan sebagai patokan dalam simulasi *ray-tracing* ini adalah:

- a. Sinar pantul harus menyentuh plafond, bukan menuju area dibawah plafond

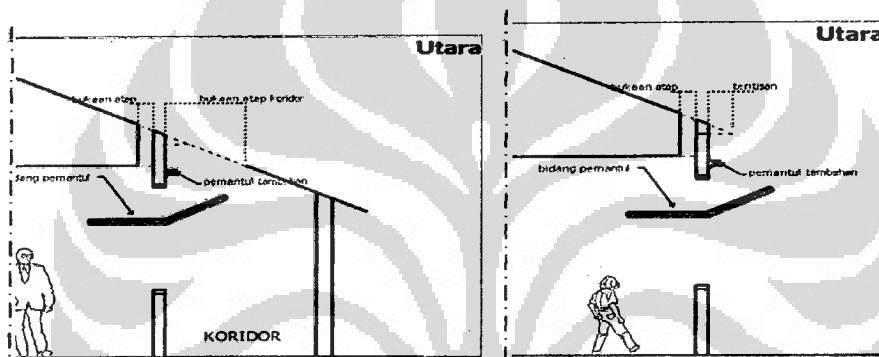


- b. Sinar pantul harus mencapai setidaknya area setengah atau lebih dari lebar plafond
- c. Sinar datang harus diterima dari semua periode waktu, baik Maret-Oktober maupun Oktober-Maret
- d. Untuk sinar datang yang terhalangi oleh bangunan, setidaknya dapat masuk ke dalam bangunan dengan beberapa garis sinar (menandakan adanya kuantitas sinar yang masuk, bukan tidak sama sekali)

Berdasarkan kriteria diatas, maka dapat disimpulkan dua alternatif pemantul utara dan selatan adalah sebagai berikut:

Pemantul Utara

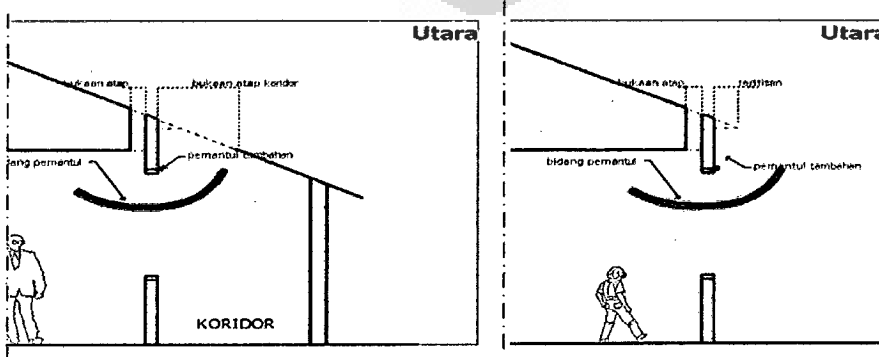
1. Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 0°



Gambar 5.21: Pemantul Sisi Utara Alternatif 1
Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Utara (Kanan)

Gambar 5.21 merupakan gambar dua pemantul pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 0° yang terletak pada sisi utara. Gambar kiri adalah pemantul yang terletak pada koridor ruang kelas selatan, gambar kiri adalah pemantul yang terletak pada sisi tanpa koridor ruang kelas utara

2. Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior *anidolic*



Gambar 5.22: Pemantul Sisi Utara Alternatif 2
Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Utara (Kanan)

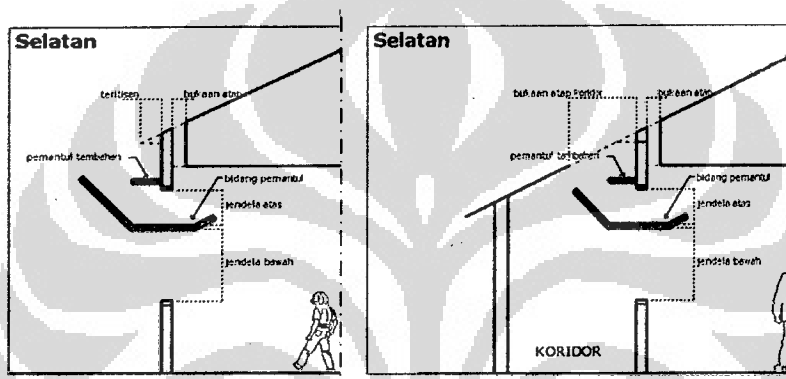


Gambar 5.22 merupakan gambar dua pemantul Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior *anidolic* yang terletak pada sisi utara. Gambar kiri adalah pemantul yang terletak pada koridor ruang kelas selatan, gambar kiri adalah pemantul yang terletak pada sisi tanpa koridor ruang kelas utara

Pemantul Selatan

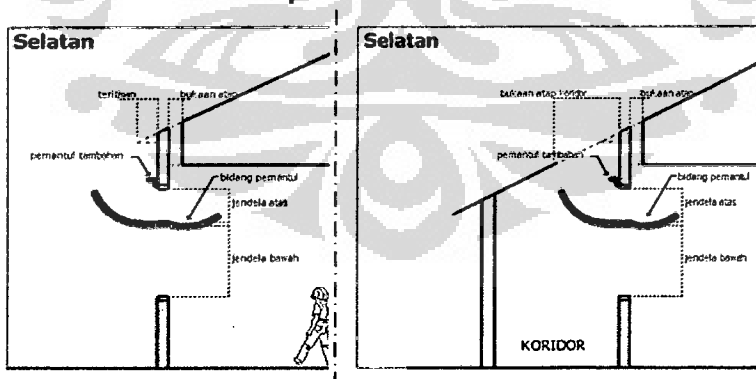
1. Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 30°

Terdiri dari pemantul yang terletak pada koridor ruang kelas selatan dan pemantul yang terletak pada sisi tanpa koridor ruang kelas utara. Pada gambar 5.23, gambar kiri adalah ruang kelas selatan, gambar kanan adalah ruang kelas utara



Gambar 5.23: Pemantul Sisi Selatan Alternatif 1
Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Utara (Kanan)

2. Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior *anidolic*



Gambar 5.24: Pemantul Sisi Selatan Alternatif 2
Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Utara (Kanan)

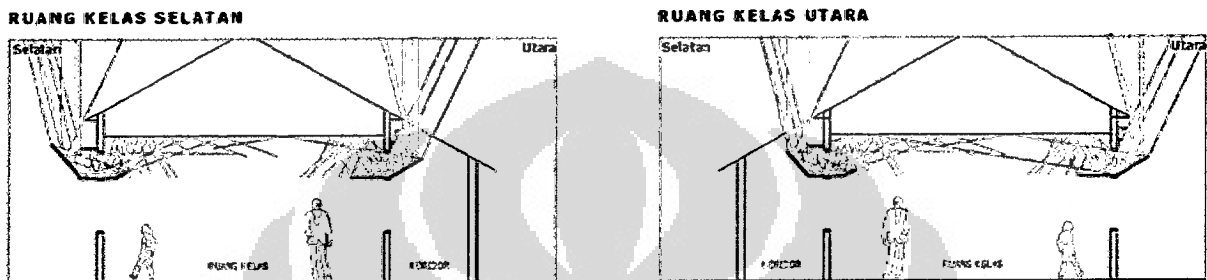
Gambar 5.24 diatas merupakan gambar dua pemantul Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior *anidolic* yang terletak pada sisi selatan kedua ruang kelas (utara dan selatan). Gambar kiri adalah pemantul yang terletak pada sisi tanpa



koridor ruang kelas selatan, gambar kiri adalah pemantul yang terletak pada koridor ruang kelas utara.

Sehingga kombinasinya pada bangunan menjadi

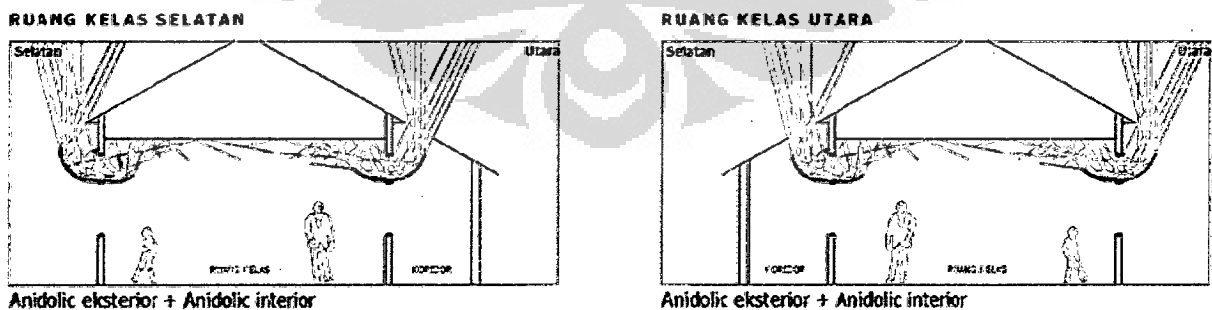
1. Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 0° pada sisi utara dan Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 30° pada sisi selatan, untuk selanjutnya disebut pemantul A



Gambar 5.25: Pemantul A (Kanan: Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 0° pada sisi utara dan Kiri: Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 30° pada sisi selatan)

Dengan dikombinasikannya dua pemantul pada sisi utara dan selatan masing-masing ruang kelas, maka, sinar pantul akan lebih terarah menuju bagian tengah plafond pada kedua periode (Maret-Oktober serta Oktober Maret), seperti terlihat pada gambar 5.25 diatas

2. Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior *anidolic* pada sisi utara dan selatan, untuk selanjutnya disebut pemantul B



Gambar 5.26: Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior *anidolic* pada sisi utara (Kanan) dan selatan (Kiri)

Pemantul *anidolic* tidak mengalami perubahan kombinasi antara pemantul sisi utara maupun sisi selatan kedua ruang kelas. Pemantul tipe ini masih



menggunakan kombinasi pada saat simulasi *ray-tracing* tahap II, seperti terlihat pada gambar 5.26

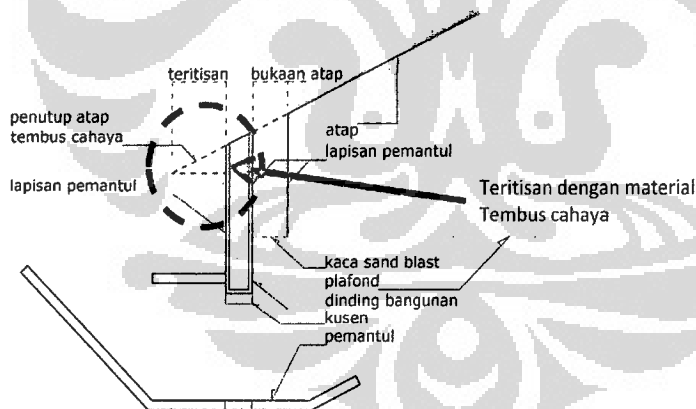
5.4.2. Pengembangan pada Hasil Analisis *Ray-Tracing* Tahap II

Pada simulasi *ray-tracing* tahap II, ternyata masih ditemukan beberapa kelemahan, yaitu:

- Akibat masih adanya sedikit teritisan, maka sinar yang diterima pemantul tidak bisa maksimal. Alternatifnya bisa dilakukan dengan memperlebar bidang pemantul, namun dengan memperlebar bidang pemantul, berarti semakin memperbesar pembayangan bagi jendela bawah.
- Akibat tidak maksimalnya sinar yang diterima oleh pemantul tadi, maka kuantitas sinar pantul yang mencapai plafond ruangan menjadi berkurang. Ini bisa terlihat dari sedikitnya jumlah garis sinar yang mampu diterima plafond ruangan

Berdasarkan hal itulah, maka diusulkan kembali beberapa pengembangan untuk meminimalkan hal tersebut diatas, yaitu

a. Penggunaan Material Tembus Cahaya Sebagai Teritisan

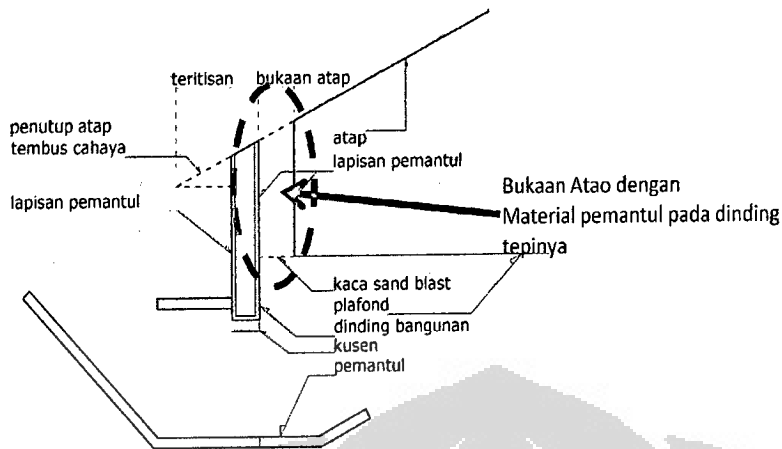


Gambar 5.27: Penggunaan Teritisan Tembus Cahaya

Adanya teritisan cukup menghalangi jatuhnya cahaya menuju pemantul. Karena alasan struktural, teritisan tidak bisa dihilangkan sama sekali. Untuk meminimalkan penghalang bagi bidang pemantul, material penutup teritisan digunakan material tembus cahaya, misalnya genteng kaca. Dengan adanya bukaan pada teritisan, jumlah sinar yang diterima pemantul akan meningkat.



b. Bukaan pada Sisi Ruangan



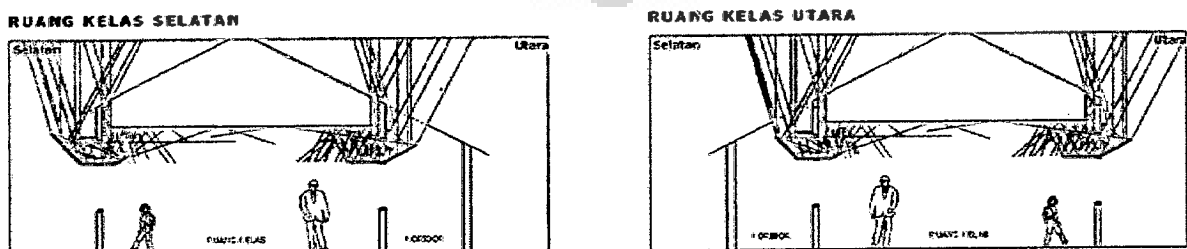
Gambar 5.28: Penempatan Lubang Bukaan Atap pada Sisi Dinding Luar

Untuk menambah kuantitas cahaya yang akan terpantulkan bidang pemantul menuju tengah plafond ruangan, pada sisi utara dan selatan ruangan, diberi bukaan atap dengan lebar 20 cm. Sisi vertikal bukaan tersebut juga berupa material reflektif sehingga cahaya yang masuk menuju bukaan tersebut dapat terefleksikan dengan baik sebelum menyentuh bidang pemantul. Untuk mencegah terjadinya glare, bidang pemantul interior akan menahan sinar dari bukaan atap yang langsung mengarah ke pengguna ruang.

Sehingga penerapannya pada mode terpilih diatas, untuk dilakukan *ray-tracing* kembali menjadi

1. Pemantul A

Pemantul eksterior sudut 30° dan pemantul interior 0° pada sisi utara dan Pemantul eksterior sudut 45° dan pemantul interior 30° pada sisi selatan



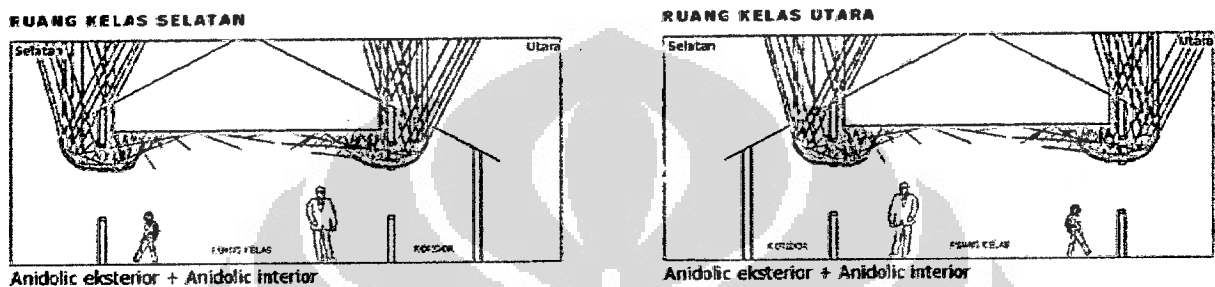
Gambar 5.29: Penambahan Teritisan Tembus Cahaya dan Bukaan Atap Terhadap Ruang dengan Pemantul A Dari Ruang Kelas Selatan (Kiri) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)



Pada gambar 5.29, akibat adanya lubang bukaan atap, kuantitas sinar yang menyentuh pemantul interior semakin bertambah. Akibatnya, sinar yang mengarah menuju area tengah plafond semakin bertambah pula. Sinar yang langsung menuju mata pengguna dari bukaan atap ini dapat dihindari akibat penggunaan pemantul interior.

2. Pemantul B

Pemantul eksterior *anidolic* dan pemantul interior *anidolic* pada sisi utara dan selatan



Gambar 5.30: Penambahan Teritisan Tembus Cahaya dan Bukaan Atap Terhadap Ruang dengan Pemantul B Dari Ruang Kelas Selatan (Kin) dan Ruang Kelas Selatan (Kanan)

Pada gambar 5.30, sama seperti pada pemantul A, akibat adanya lubang bukaan atap, kuantitas sinar yang menyentuh pemantul interior semakin bertambah. Akibatnya, sinar yang mengarah menuju area tengah plafond semakin bertambah pula. Sinar yang langsung menuju mata pengguna dari bukaan atap ini dapat dihindari akibat penggunaan pemantul interior.

5.5. Simulasi Intensitas Cahaya

Setelah didapatkan komposisi sudut pemantul melalui simulasi *ray-tracing* diatas, maka tahap selanjutnya adalah mengaplikasikannya pada model ruang kelas standar yang telah dikembangkan sesuai analisis pengembangan ruang kelas eksistng diatas. Seperti pada tahapan pertama, simulasi intensitas cahaya dilakukan dengan menggunakan software komputer Relux Professional 2007.



Yang akan menjadi variabel tambahan pada simulasi intensitas pencahayaan tahap kedua ini (selain pemantul A dan B) yaitu Material Pemantul dengan Reflektivitas 65%-90%:

1. Chrome Steel (65%)
2. Cooper Polished (69%)
3. Perforated Plate (73,5%)
4. Stainless Steel (80%)
5. Mirror Silver (90%)

Pada simulasi intensitas cahaya tahap dua ini, faktor eksternal seperti objek di luar bangunan tidak disertakan, karena model ruang kelas ini bersifat usulan, bukan pengujian terhadap studi kasus. Karenanya, hasil dari simulasi ini, perlu disesuaikan lagi terhadap kondisi sekitar dari lokasi pengguna usulan ruang kelas ini. Untuk aspek-aspek lainnya yang berkaitan dengan proses simulasi intensitas cahaya ini adalah sama seperti aspek-aspek simulasi intensitas cahaya tahap pertama.

5.6. Hasil Simulasi Intensitas Cahaya Tahap II

Simulasi tahap II menggunakan software Relux Professional 2007 menghasilkan beberapa macam data, yang akan digunakan hanyalah:

6. Titik ukur pada bidang kerja: TUU, Titik Ukur Utama; TUSd, Titik Ukur Samping depan; TUSb, Titik Ukur Samping belakang
7. TUp, Titik Ukur papan tulis
8. Avrg, *Average* (rata-rata) dari TUU, TUSd, dan TUSb
9. Eav, *Average* (rata-rata) keseluruhan titik intensitas
10. U g1, *Uniformity* g1.

Hasil simulasi diatas ber bentuk tabel, kecuali untuk Avrg akan disampaikan dalam bentuk Gambar. Ini dilakukan, karena penentuan efektivitas pemantul didasarkan atas nilai rata-rata dari tiap titik ukur, sementara penggunaan Gambar hanya agar memudahkan penentuan.



5.6.1. Pemantul Tipe A

Tabel 5.1: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur Pemantul A Ruang Kelas Utara

Ruang Kelas	Material Pemantul	TUS d				TUU				TUS b			
		5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember
UTARA	ALUMINIUM	369	315	364	353	481	427	479	481	397	338	391	381
	CHROME STEEL	380	319	369	364	492	428	478	469	406	380	397	385
	COOPER POLISHED	381	322	374	362	497	434	483	472	410	345	405	391
	PERFORATED PLATE	395	332	363	350	500	434	498	488	422	354	437	390
	STAINLESS STEEL	407	338	388	385	524	435	508	503	431	352	422	397
	MIRROR SILVER	412	355	413	401	543	457	532	523	447	376	439	411

Tabel 5.1 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara usulan dengan pemantul tipe A, dimana penggunaan yang berbeda-beda dari material pemantul, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula tiap titik ukur dalam ruang kelas, pada tiap tanggal pengukuran yang mewakili sudut-sudut VSA. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap pemantul A.

Tabel 5.2: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya Pemantul A Ruang Kelas Utara

Ruang Kelas	Material Pemantul	Tup				Eav				U g1			
		5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember
UTARA	ALUMINIUM	228	191	224	217	766	647	754	732	0.2	0.2	0.2	0.2
	CHROME STEEL	231	196	227	220	779	658	767	745	0.2	0.2	0.2	0.21
	COOPER POLISHED	234	198	228	222	787	664	774	751	0.2	0.2	0.2	0.21
	PERFORATED PLATE	243	209	244	234	804	678	792	768	0.21	0.21	0.21	0.21
	STAINLESS STEEL	253	213	250	242	822	694	809	785	0.21	0.21	0.21	0.21
	MIRROR SILVER	265	227	264	255	851	719	837	813	0.21	0.21	0.21	0.21

Tabel 5.2 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara usulan dengan pemantul tipe A, dimana penggunaan yang berbeda-beda dari material pemantul, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula titik ukur papan tulis, iluminansi rata-rata, serta seberapa besar pemerataan cahaya dalam ruang kelas, pada tanggal-tanggal pengukuran yang mewakili sudut-sudut VSA. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap pemantul A.



Tabel 5.3: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur Pemantul A Ruang Kelas Selatan

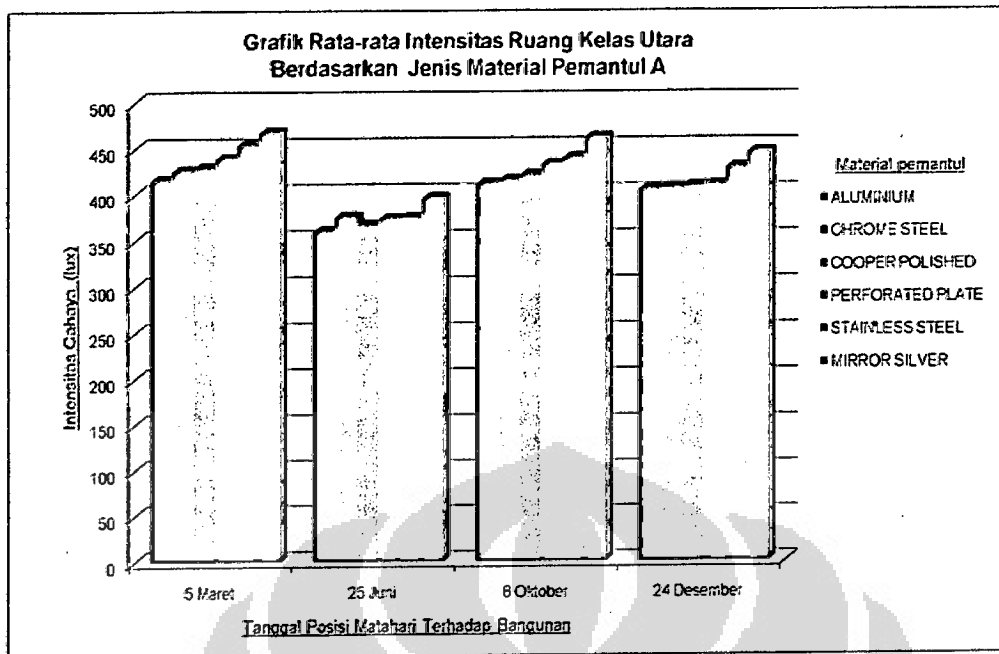
Ruang Kelas	Material Pemantul	TUS d				TUU				TUS b			
		6 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember
SELATAN	ALUMINIUM	355	304	353	368	486	416	475	468	373	335	368	380
	CHROME STEEL	369	310	365	352	494	420	485	472	381	343	378	389
	COOPER POLISHED	370	355	368	358	487	471	490	482	386	385	403	391
	PERFORATED PLATE	382	318	335	363	507	421	490	453	419	334	388	375
	STAINLESS STEEL	349	329	380	371	506	443	495	495	381	340	396	382
	MIRROR SILVER	398	343	400	371	503	452	516	484	416	352	406	395

Tabel 5.3 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas selatan usulan dengan pemantul tipe A, dimana penggunaan yang berbeda-beda dari material pemantul, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula tiap titik ukur dalam ruang kelas, pada tiap tanggal pengukuran yang mewakili sudut-sudut VSA. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap pemantul A.

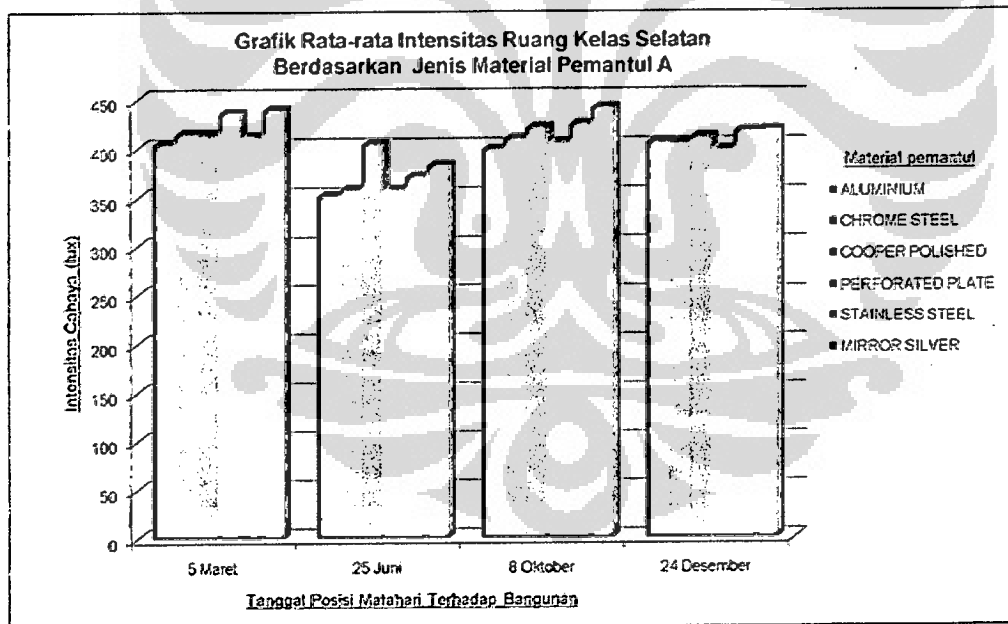
Tabel 5.4: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya Pemantul A Ruang Kelas Selatan

Ruang Kelas	Material Pemantul	Tup				Eav				U g1			
		6 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember
SELATAN	ALUMINIUM	218	185	213	208	692	584	681	662	0.2	0.2	0.2	0.2
	CHROME STEEL	226	192	222	216	706	597	695	675	0.2	0.2	0.21	0.21
	COOPER POLISHED	229	193	225	219	712	602	701	681	0.21	0.2	0.21	0.2
	PERFORATED PLATE	247	201	235	229	728	613	716	694	0.21	0.21	0.21	0.2
	STAINLESS STEEL	245	207	249	234	743	627	730	710	0.21	0.2	0.2	0.2
	MIRROR SILVER	274	230	269	261	768	649	757	735	0.2	0.21	0.21	0.21

Tabel 5.4 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas selatan usulan dengan pemantul tipe A, dimana penggunaan yang berbeda-beda dari material pemantul, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula titik ukur papan tulis, iluminansi rata-rata, serta seberapa besar pemerataan cahaya dalam ruang kelas, pada tanggal-tanggal pengukuran yang mewakili sudut-sudut VSA. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap pemantul A.



Gambar 5.31: Rata-rata Intensitas Cahaya Akibat Pemantul A Ruang Kelas Utara



Gambar 5.32: Rata-rata Intensitas Cahaya Akibat Pemantul A Ruang Kelas Selatan

Kedua grafik diatas (gambar 5.31 dan 5.32) mewakili intensitas rata-rata dari tiap titik ukur masing-masing tanggal pengukuran, untuk tiap-tiap material pemantul yang digunakan pada pemantul tipe A pada ruang kelas usulan utara dan selatan.



Analisis Hasil Simulasi Model Ruang Kelas dengan Pemantul Tipe A:

1. Peningkatan kemampuan bidang pemantul terlihat dengan dicapainya nilai kenyamanan visual akibat penggunaan bidang pemantul pada model usulan ini. Dibandingkan dengan penggunaan bidang pemantul pada model ruang kelas eksisting yang hanya mencapai 150-200 lux, bidang pemantul pada model usulan ini mampu mencapai nilai intensitas 350-500 lux
2. Nilai intensitas yang dihasilkan cenderung 50-100 lux diatas standar 250-300 lux. Kemungkinan ini karena pada saat simulasi, faktor-faktor eksternal seperti keberadaan objek lain diluar ruangan sebagai penghalang dan reflektansi dari objek lain tidak disertakan sebagai variabel dalam simulasi tahap dua ini. Selain itu kondisi kuat cahaya dan cuaca (kondisi awan) pada simulasi ini cenderung konstan.
3. Diantara ke empat tanggal posisi matahari, nilai intensitas tanggal 25 juni paling rendah diantara ketiga tanggal lainnya. Pada tanggal tersebut posisi matahari berada pada sudut $60,40^{\circ}$ dari muka tanah arah timur bangunan. Dengan sudut seperti ini, sinar memang cenderung lebih mudah penetrasi melalui pemantul ke sisi utara ruangan. Namun, pada sisi selatan ruangan, sinar datang cenderung terhalangi oleh bangunan itu sendiri. Akibatnya, intensitas ruangan hanya bergantung pada penetrasi sinar langsung pada salah satu sisi (sisi utara bangunan) dan sinar diffuse dari terang langit.
4. Meskipun secara keseluruhan dapat terlihat bahwa intensitas ruang kelas utara lebih baik 2-5 lux dibandingkan ruang kelas selatan, namun intensitas tanggal 25 Juni pada ruang kelas selatan paling terlihat jelas perbedaannya dibandingkan ruang kelas utara sekitar 10 lux. Hal ini karena, sinar dari utara yang masuk ke dalam ruang kelas selatan, selain melalui pemantul, juga harus melalui koridor. Dengan adanya koridor ini, sinar langsung semakin menjauh dari lubang cahaya efektif (kecuali sinar langsung yang melalui pemantul). Begitu pula sinar dari terang langit sebagai sumber cahaya difusi. Sementara pada ruang kelas utara, baik sinar langsung dan difusi, tidak mendapatkan halangan apapun.
5. Nilai intensitas yang hampir seimbang pada tanggal 5 Maret, 8 Oktober, dan 24 Desember, membuktikan bidang pemantul berfungsi dengan baik pada periode Oktober-Maret. Pada periode sebaliknya, Maret-Oktober, kemampuan bidang pemantul sedikit menurun. Meskipun penurunan ini tidak mempengaruhi kinerja bidang pemantul secara keseluruhan.



6. Semakin tinggi nilai reflektansi dari material bidang pemantul, nilai intensitas yang dihasilkan semakin meningkat. Namun peningkatan ini tidak diikuti dengan peningkatan pemerataan distribusi cahaya yang ditunjukkan dalam nilai *uniformity g1* yang cenderung konstan berkisar 0.2-0.21. Ini karena semakin tinggi reflektivitas, semakin meningkat pula intensitas cahaya dalam ruang, sementara itu, semakin banyak pula intensitas yang nilainya sangat tinggi dibandingkan dengan nilai intensitas lainnya
7. Semakin banyak kuantitas intensitas yang nilainya sangat tinggi dibandingkan dengan nilai intensitas rata-rata, semakin buruk kualitas distribusi pencahayaannya. Ini dibuktikan dari nilai *uniformity g1* yang hanya 0.2-0.21. Hal ini karena nilai *uniformity g1* adalah nilai intensitas minimum berbanding dengan nilai intensitas rata-rata. Semakin jauh rentan antara intensitas terendah dengan tertinggi, semakin kecil pula nilai *uniformity g1*-nya. Sementara semakin besar nilai *uniformity g1* (≤ 1) semakin baik pula distribusi cahaya dalam suatu ruang
8. *Material aluminium, chrome steel, cooper polished, dan perforated plate* memiliki kemampuan yang hampir sama meskipun nilai reflektivitasnya berbeda-beda. Ini terlihat dari hampir setaranya nilai intensitas pada semua tanggal (perbedaan nilai intensitas akibat penggunaan material-material tersebut hanya berkisar 5-10 lux). Sementara nilai intensitas akibat penggunaan material lainnya (*stainless steel dan mirror silver*) cenderung memiliki rentan yang cukup jauh (10-20 lux)
9. Peningkatan kemampuan bidang pemantul juga ditunjukkan dengan peningkatan intensitas pada area papan tulis. Dengan menggunakan bidang pemantul, nilai intensitas pada area papan tulis berkisar menjadi 220-300 lux. Dibandingkan pada waktu simulasi terhadap model eksisting yang hanya meningkat menjadi 100-200 lux. Ini diakibatkan adanya bukaan pada sisi-sisi area papan tulis, baik pada dinding maupun pada pintu. Namun nilai intensitas ini, tetap masih dibawah standar intensitas area papan tulis 350-500 lux.



5.6.2. Pemantul Tipe B

Tabel 5.5: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur Pemantul B Ruang Kelas Utara

Ruang Kelas	Material Pemantul	TUS d				TUU				TUS b			
		5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember
UTARA	ALUMINIUM	366	304	375	375	535	437	526	526	416	356	408	401
	CHROME STEEL	397	362	419	383	552	479	538	553	430	380	445	412
	COOPER POLISHED	426	362	426	390	571	490	574	535	432	388	454	438
	PERFORATED PLATE	437	373	432	390	573	507	589	551	475	398	467	454
	STAINLESS STEEL	454	388	450	407	571	517	605	585	480	413	469	464
	MIRROR SILVER	484	388	474	439	653	544	619	607	490	416	482	489

Tabel 5.5 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara usulan dengan pemantul tipe B, dimana penggunaan yang berbeda-beda dari material pemantul, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula tiap titik ukur dalam ruang kelas, pada tiap tanggal pengukuran yang mewakili sudut-sudut VSA. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap pemantul B.

Tabel 5.6: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya Pemantul B Ruang Kelas Utara

Ruang Kelas	Material Pemantul	Tup				Eav				Ugt			
		5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember
UTARA	ALUMINIUM	229	223	260	253	730	640	745	725	0.19	0.2	0.19	0.2
	CHROME STEEL	273	231	267	258	773	655	762	739	0.2	0.2	0.2	0.2
	COOPER POLISHED	275	233	269	260	777	659	769	747	0.2	0.2	0.2	0.21
	PERFORATED PLATE	278	236	273	267	797	674	785	764	0.2	0.21	0.2	0.2
	STAINLESS STEEL	289	243	281	271	816	689	802	778	0.2	0.21	0.21	0.2
	MIRROR SILVER	312	263	302	299	857	723	842	819	0.21	0.22	0.21	0.22

Tabel 5.6 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas utara usulan dengan pemantul tipe B, dimana penggunaan yang berbeda-beda dari material pemantul, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula titik ukur papan tulis, iluminansi rata-rata, serta seberapa besar pemerataan cahaya dalam ruang kelas, pada tanggal-tanggal pengukuran yang mewakili sudut-sudut VSA. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap pemantul B.



Tabel 5.7: Intensitas Cahaya pada tiap Titik Ukur Pemantul B Ruang Kelas Selatan

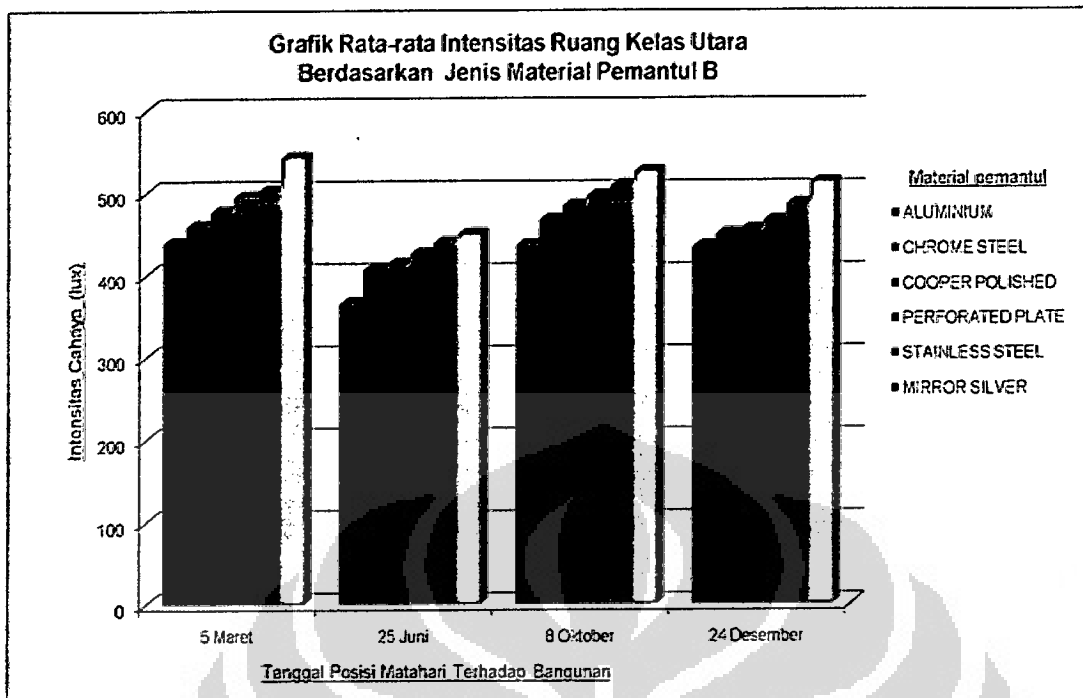
Ruang Kelas	Material Pemantul	TUS d				TUU				TUS b			
		5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember
SELATAN	ALUMINIUM	391	313	384	408	527	483	560	536	394	371	447	413
	CHROME STEEL	404	341	397	415	551	496	565	548	472	380	462	431
	COOPER POLISHED	409	368	409	420	562	499	585	571	473	403	471	436
	PERFORATED PLATE	424	382	443	405	575	507	587	570	468	417	497	470
	STAINLESS STEEL	440	387	456	413	618	513	614	581	490	423	494	483
	MIRROR SILVER	470	393	461	445	648	547	620	602	509	427	499	490

Tabel 5.7 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas selatan usulan dengan pemantul tipe B, dimana penggunaan yang berbeda-beda dari material pemantul, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula tiap titik ukur dalam ruang kelas, pada tiap tanggal pengukuran yang mewakili sudut-sudut VSA. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap pemantul B.

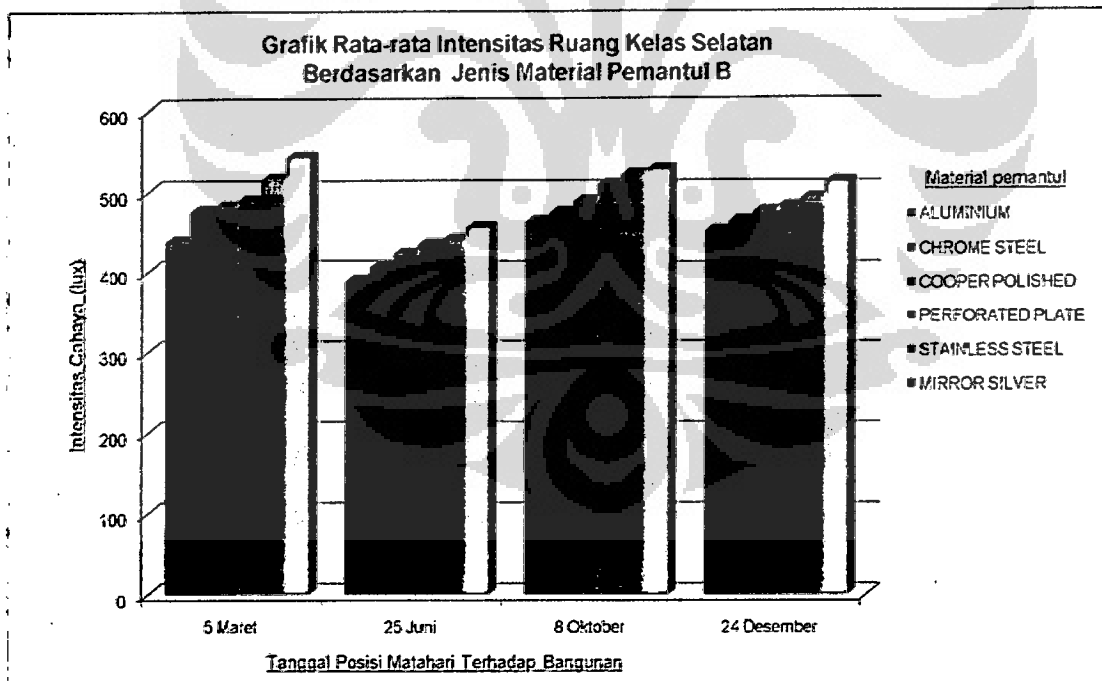
Tabel 5.8: Intensitas Cahaya Papan Tulis, Intensitas Rata-rata, dan Pemerataan Cahaya Pemantul B Ruang Kelas Selatan

Ruang Kelas	Material Pemantul	Tup				Eav				U g1			
		5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember	5 Maret	25 Juni	8 Oktober	24 Desember
SELATAN	ALUMINIUM	228	229	265	258	758	671	782	760	0.2	0.21	0.2	0.21
	CHROME STEEL	275	234	270	264	812	685	800	777	0.21	0.21	0.2	0.21
	COOPER POLISHED	277	236	273	266	820	691	808	783	0.21	0.21	0.21	0.21
	PERFORATED PLATE	294	250	289	281	838	708	825	800	0.21	0.21	0.21	0.21
	STAINLESS STEEL	299	253	295	287	855	720	840	817	0.22	0.22	0.21	0.22
	MIRROR SILVER	320	271	317	307	895	755	881	854	0.23	0.23	0.23	0.22

Tabel 5.6 menunjukkan hasil simulasi pada model ruang kelas selatan usulan dengan pemantul tipe B, dimana penggunaan yang berbeda-beda dari material pemantul, menghasilkan nilai intensitas pada yang berbeda-beda pula titik ukur papan tulis, iluminansi rata-rata, serta seberapa besar pemerataan cahaya dalam ruang kelas, pada tanggal-tanggal pengukuran yang mewakili sudut-sudut VSA. Untuk penjelasan lebih lanjut, dapat dilihat pada bagian analisis hasil simulasi terhadap pemantul B.



Gambar 5.33: Rata-rata Intensitas Cahaya Akibat Pemantul B Ruang Kelas Utara



Gambar 5.34: Rata-rata Intensitas Cahaya Akibat Pemantul B Ruang Kelas Selatan

Kedua grafik diatas (gambar 5.33 dan 5.34) mewakili intensitas rata-rata dari tiap titik ukur masing-masing tanggal pengukuran, untuk tiap-tiap material pemantul yang digunakan pada pemantul tipe A pada ruang kelas usulan utara dan selatan.



Analisis Hasil Simulasi Model Ruang Kelas dengan Pemantul Tipe B:

1. Peningkatan kemampuan bidang pemantul terlihat dengan dicapainya nilai kenyamanan visual akibat penggunaan bidang pemantul pada model usulan ini. Dibandingkan dengan penggunaan bidang pemantul pada model ruang kelas eksisting yang hanya mencapai 150-200 lux, bidang pemantul pada model usulan ini mampu mencapai nilai intensitas 350-600 lux
2. Nilai intensitas yang dihasilkan cenderung 100-200 lux diatas standar 250-300 lux. Kemungkinan ini karena pada saat simulasi, faktor-faktor eksternal seperti keberadaan objek lain diluar ruangan sebagai penghalang dan reflektansi dari objek lain tidak disertakan sebagai variabel dalam simulasi tahap dua ini. Selain itu kondisi kuat cahaya dan cuaca (kondisi awan) pada simulasi ini cenderung konstan.
3. Peningkatan drastis dari nilai intensitas pada simulasi kali ini juga dipengaruhi oleh bidang pemantul yang berfungsi dengan sangat baik. Bentuk paraboliknya mampu mengarahkan sinar dari berbagai arah meyebar menuju plafond secara baik. Namun yang perlu diperhatikan kembali adalah tingkat kenyamanan visual pengguna, apakah dengan nilai yang setinggi hasil simulasi pemantul B ini, kenyamanan tetap tercapai (berdasarkan evaluasi standar kenyamanan visual)
4. Diantara ke empat tanggal posisi matahari, nilai intensitas tanggal 25 juni paling rendah diantara ketiga tanggal lainnya. Pada tanggal tersebut posisi matahari berada pada sudut $60,40^\circ$ dari muka tanah arah timur bangunan. Dengan sudut seperti ini, sinar memang cenderung lebih mudah penetrasi melalui pemantul ke sisi utara ruangan. Namun, pada sisi selatan ruangan, sinar datang cenderung terhalangi oleh bangunan itu sendiri. Akibatnya, intensitas ruangan hanya bergantung pada penetrasi sinar langsung pada salah satu sisi (sisi utara bangunan) dan sinar diffuse dari terang langit.
5. Meskipun secara keseluruhan dapat terlihat bahwa intensitas ruang kelas utara lebih baik 2-5 lux dibandingkan ruang kelas selatan, namun intensitas tanggal 25 Juni pada ruang kelas selatan paling terlihat jelas perbedaannya dibandingkan ruang kelas utara sekitar 10 lux. Hal ini karena, sinar dari utara yang masuk ke dalam ruang kelas selatan, selain melalui pemantul, juga harus melalui koridor. Dengan adanya koridor ini, sinar langsung semakin menjauh dari lubang cahaya efektif (kecuali sinar langsung yang melalui pemantul). Begitu pula sinar dari terang langit sebagai sumber cahaya difusi. Sementara



- pada ruang kelas utara, baik sinar langsung dan difusi, tidak mendapatkan halangan apapun.
6. Nilai intensitas yang hampir seimbang pada tanggal 5 Maret, 8 Oktober, dan 24 Desember, membuktikan bidang pemantul berfungsi dengan baik pada periode Oktober-Maret. Pada periode sebaliknya, Maret-Oktober, kemampuan bidang pemantul sedikit menurun. Meskipun penurunan ini tidak mempengaruhi kinerja bidang pemantul secara keseluruhan.
 7. Semakin tinggi nilai reflektansi dari material bidang pemantul, nilai intensitas yang dihasilkan semakin meningkat. Namun peningkatan ini tidak diikuti dengan peningkatan pemerataan distribusi cahaya yang ditunjukkan dalam nilai *uniformity* g1 yang cenderung konstan berkisar 0.2-0.21. Ini karena semakin tinggi reflektivitas, semakin meningkat pula intensitas cahaya dalam ruang, sementara itu, semakin banyak pula intensitas yang nilainya sangat tinggi dibandingkan dengan nilai intensitas lainnya
 8. Semakin banyak kuantitas intensitas yang nilainya sangat tinggi dibandingkan dengan nilai intensitas rata-rata, semakin buruk kualitas distribusi pencahayaannya. Ini dibuktikan dari nilai *uniformity* g1 yang hanya 0.2-0.21. Hal ini karena nilai *uniformity* g1 adalah nilai intensitas minimum berbanding dengan nilai intensitas rata-rata. Semakin jauh rentan antara intensitas terendah dengan tertinggi, semakin kecil pula nilai *uniformity* g1-nya. Sementara semakin besar nilai *uniformity* g1 (≤ 1) semakin baik pula distribusi cahaya dalam suatu ruang
 9. Peningkatan kemampuan bidang pemantul juga ditunjukkan dengan peningkatan intensitas pada area papan tulis. Dengan menggunakan bidang pemantul, nilai intensitas pada area papan tulis berkisar menjadi 220-300 lux. Dibandingkan pada waktu simulasi terhadap model eksisting yang hanya meningkat menjadi 100-200 lux. Ini diakibatkan adanya bukaan pada sisi-sisi area papan tulis, baik pada dinding maupun pada pintu. Namun nilai intensitas ini, tetap masih dibawah standar intensitas area papan tulis 350-500 lux.



5.7. Kesimpulan Simulasi Tahap Dua

1. Kesemua hasil simulasi diatas, terutama untuk nilai intensitas adalah hasil tanpa faktor eksternal. Untuk itu perlu disesuaikan lagi terhadap kondisi sekitar bangunan, tempat dimana usulan tersebut akan digunakan.
2. Nilai intensitas yang tinggi akibat penggunaan pemantul bukan berarti yang terbaik. Nilai intensitas cahaya yang diinginkan adalah yang sesuai standar 250-300 lux. Sementara hasil simulasi tahap dua, berada 50-200 lux diatas nilai standar. Berdasarkan hal tersebut, nilai intensitas yang diambil dari hasil simulasi tahap dua ini adalah rentan 50-100 lux diatas standar. Hal ini karena nilai yang sangat jauh diatas nilai intensitas standar memungkinkan terjadinya over illuminated atau kelebihan intensitas pencahayaan terhadap suatu pekerjaan tertentu (dalam hal ini adalah belajar) yang dapat mengakibatkan selain kesilauan juga kerusakan pada organ penglihatan.
3. Berdasarkan hal diatas, maka pemantul tipe B tidak dapat digunakan karena menghasilkan dalam simulasi nilai intensitas 100-200 lux diatas nilai intensitas standar
4. Dalam simulasi tahap dua ini, nilai distribusi pencahayaan tidak bisa menjadi patokan, karena nilainya konstan pada setiap simulasi yang dilakukan terhadap kedua pemantul. Namun yang perlu diingat, nilai distribusi pencahayaan dalam simulasi ini, 0,2-0,21, adalah nilai yang cukup rendah. Ini berarti masih ada intensitas cahaya yang sangat tinggi dibandingkan dengan intensitas cahaya rata-rata model ruang kelas usulan.
5. Pemantul tipe A dapat disimpulkan sebagai pemantul yang efektif meningkatkan intensitas pencahayaan ruang kelas (jika dibandingkan dengan pengukuran eksisting dan simulasi tahap satu terhadap model eksisting tanpa pemantul). Nilai intensitas yang dihasilkan memang tidak setinggi pemantul tipe B, namun intensitas cahaya akibat penggunaan pemantul tipe B sangat dimungkinkan terjadinya ketidaknyamanan visual
6. Material pemantul A yang paling efektif meningkatkan intensitas cahaya adalah Mirror silver. Namun material ini memiliki kemungkinan menciptakan terjadinya glare karena memiliki reflektivitas yang hampir sempurna yaitu 90% dan tidak memiliki nilai roughness. Karenanya, material yang efektif meningkatkan



intensitas cahaya tanpa ada kemungkinan mengakibatkan glare yaitu stainless steel.

7. Kedua tipe pemantul mampu meningkatkan intensitas cahaya pada area papan tulis. Bahkan lebih baik jika dibandingkan pada tahap satu, yaitu mencapai 220-300 lux. Namun, kedua pemantul belum dapat mencapai tingkat kenyamanan visual pada area papan tulis, 350-500 lux

5.8. Aspek Arsitektural

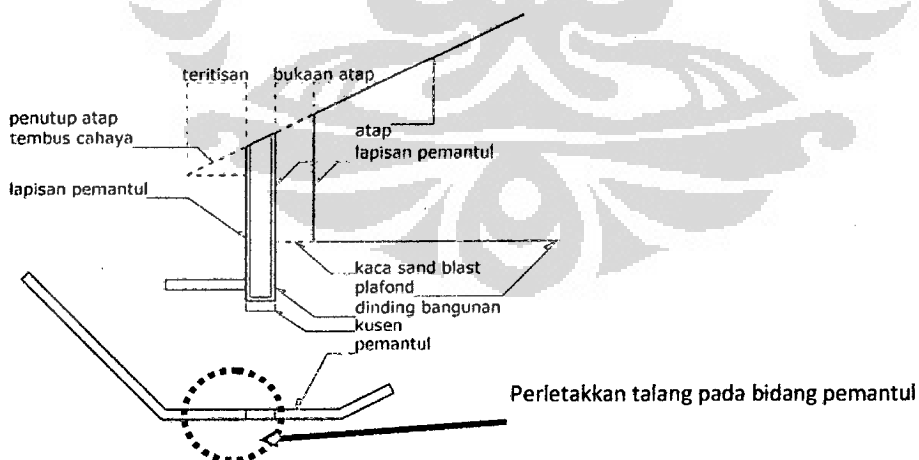
Selain aspek instrument pemantul sebagai bagian dari unsur perancangan pencahayaan alami tidak langsung, usulan juga tetap harus memperhatikan beberapa aspek arsitektural yang masih berkaitan dengan pencahayaan alami, yaitu:

1. Bidang Pemantul

a. Struktur Bidang Pemantul

Bidang pemantul terdiri dari material pemantul dan rangka penguat. Bidang pemantul menempel pada bagian bawah jendela atas. Rangka bidang pemantul dapat ditempel pada dinding ataupun dapat digantung pada rangka atap. Material pemantul harus dapat dilepas dari rangkanya untuk memudahkan perawatan.

b. Drainase pada Bidang Pemantul



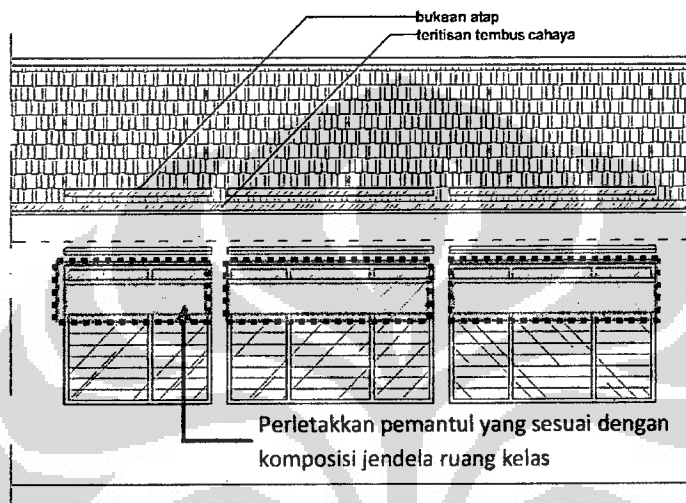
Gambar 5.35: Perletakkan Drainase di Bidang Pemantul

Untuk bidang pemantul yang terletak di luar ruangan, pada bagian yang menempel dengan jendela atas, terdapat talang untuk menampung air hujan,



yang kemudian disalurkan menuju saluran air kotor bangunan, seperti yang terlihat pada gambar 5.35 diatas. Talang ini juga berguna untuk menampung air cucuran dari atap, karena atap berada diatas pemantul ini. Bidang pemantul yang berada pada koridor, tidak diperlukan adanya talang karena bidang pemantul ini masih berada dibawah atap koridor. Atap ini tembus cahaya agar cahaya dapat diterima oleh pemantul.

c. Komposisi Memanjang



Gambar 5.36: Komposisi Memanjang dari Bidang Pemantul

Bidang pemantul tidak memanjang dari timur-barat atau sebaliknya sepanjang ruang kelas. Bidang pemantul terbagi-bagi pada setiap lebar jendela dan pintu. Ini karena akan percuma apabila bidang pemantul juga diletakkan didepan tembok diantara pintu dan jendela serta jendela dan jendela. Selain itu, penempatan bidang pemantul berselang-seling sebagai salah satu penerapan aspek estetis pada bangunan.

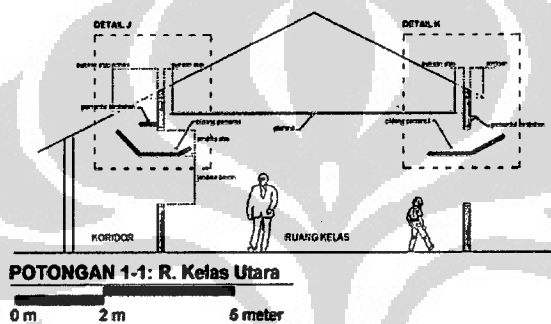
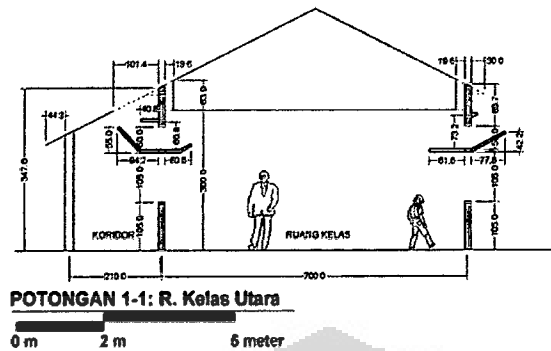
2. Jendela

Untuk material pengisi jendela atas dan jendela bawah, selain harus berupa material tembus cahaya, juga harus tetap diperhatikan pemasukan udara bagi ruangan. Jendela atas dapat terdiri dari bilah-bilah kaca nako. Penggunaan kaca nako ini juga mengakomodasi pengudaraan alami bagi ruang kelas. Pada jendela bawah, dapat digunakan kaca sandblast agar siswa dapat berkonsentrasi kepada kegiatan di dalam kelas. Kaca ini selain mengaburkan pandangan ke luar ruangan, juga dapat mampu menyebarkan cahaya dari luar ruangan, sehingga tercipta cahaya *diffuse* ke dalam ruangan.

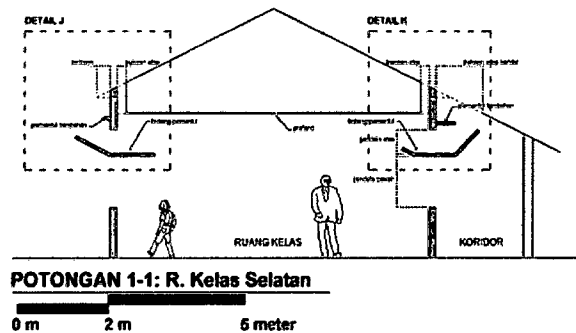
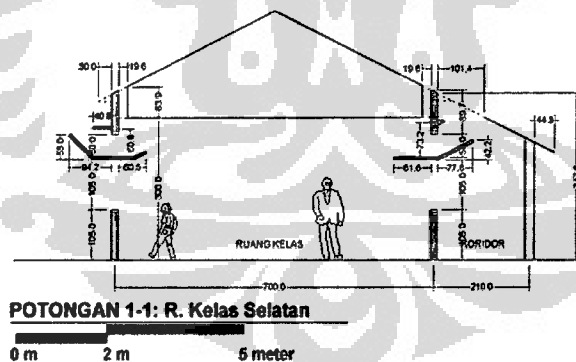


5.9. Gambar Usulan Desain

a. Potongan

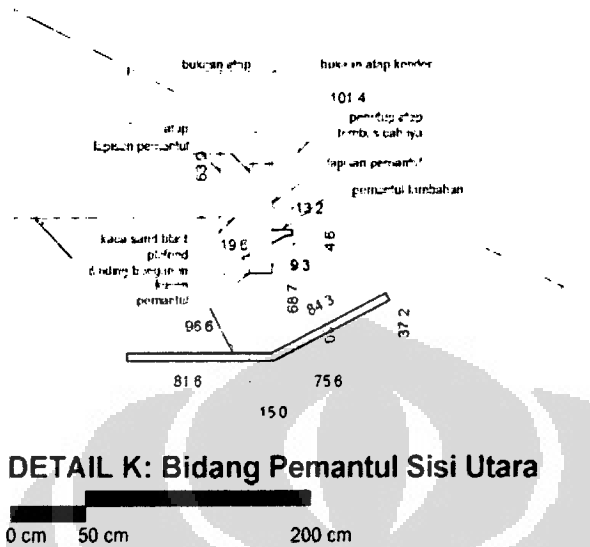


Gambar 5.37: Potongan Ruang Kelas Utara



Gambar 5.38: Potongan Ruang Kelas Selatan

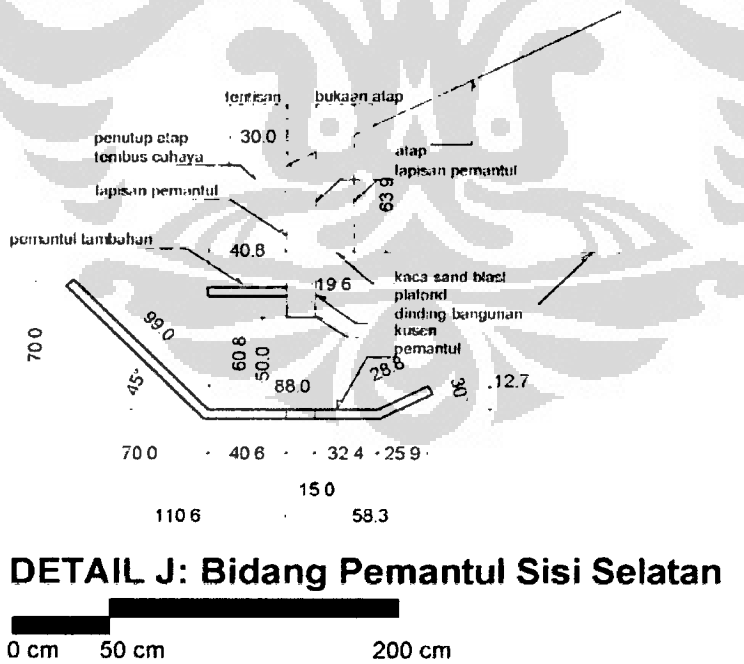
b. Detail Pemantul Sisi Utara



DETAIL K: Bidang Pemantul Sisi Utara

Gambar 5.39: Detail Bidang Pemantul Sisi Utara

c. Detail Pemantul Sisi Selatan



DETAIL J: Bidang Pemantul Sisi Selatan

Gambar 5.40: Detail Bidang Pemantul Sisi Selatan



5.10. Resume Penelitian

Dari pengolahan data dan analisis hasil simulasi *ray-tracing* dan simulasi intensitas cahaya tahap I dan II terhadap beberapa variasi dari bidang pemantul dan material dengan menggunakan perangkat lunak simulasi AutoCAD 2007 dan Relux 2007 Professional untuk lima Sekolah Dasar dengan masing-masing pada ruang kelas utara dan selatan, yang menjadi studi kasus pada wilayah Kota Depok untuk kemudian di usulkan pengembangan, dapat diambil beberapa resume

1. Bidang pemantul hanya meningkatkan intensitas cahaya dalam ruang kelas sekitar 30%-70% dibandingkan dengan kondisi eksisting

Secara teoritis, pernyataan diatas berarti sinar pantul dari bidang pemantul yang diarahkan menuju plafond ruangan efektif tersebar oleh plafond ruangan. Tinggi rendahnya nilai efektivitasnya bergantung kepada kondisi sekitar ruang kelas, terutama ada tidaknya objek yang menghalangi jatuhnya sinar matahari menuju bidang pemantul.

2. Bidang pemantul mampu meningkatkan kenyamanan visual dalam rentan 250-300 lux apabila terpenuhi mengenai:
 - a. Bidang pemantul harus menempel pada jendela atas (*boven licht*),
 - b. Sinar pantul harus diarahkan menuju plafond
 - c. Tidak ada objek lain yang berpotensi menghalangi jatuhnya sinar datang menuju pemantul
 - d. Material yang digunakan sebagai media pemantul memiliki nilai reflektivitas 70%-80% dan memiliki nilai *roughness* antara 0.05-0.1
 - e. Material ruang dalam harus memiliki nilai reflektivitas yang cukup baik (diatas 80%), namun tidak mengandung unsur mengkilap (nilai *shinnes* <1)

Secara teoritis, pernyataan diatas berarti peningkatan intensitas cahaya dalam ruang kelas akan mencapai kondisi nyaman visual apabila terpenuhi syarat-syarat tersebut. Nilai intensitas yang digunakan adalah nilai intensitas rata-rata dari tiap-tiap titik ukur dalam ruangan, dan berkaitan pula dengan pemerataan nilai intensitas pada tiap titik ukur tersebut

3. Nilai distribusi cahaya pada kedua tahap penelitian masih belum mengalami perbaikan yang signifikan. Hal ini dibuktikan pada simulasi intensitas cahaya tahap I, nilai pemerataan (*uniformity g1*) model eksisting dengan pemantul tidak berbeda



dengan nilai pada model eksisting tanpa pemantul. Pada simulasi tahap II, justru nilai ini semakin jauh dari nilai yang diinginkan (mendekati 1) yaitu hanya 0.2-0.21

Secara teoritis, pernyataan diatas berarti intensitas sinar pantul baik yang disebarkan oleh plafond, pantulan langsung, ataupun sinar langsung dari terang langit, masih ada beberapa nilai intensitas yang menonjol dibandingkan nilai intensitas rata-rata.

4. Bidang pemantul efektif meningkatkan intensitas pencahayaan pada area papan tulis, namun intensitas cahaya tersebut masih berada di bawah standar intensitas cahaya pada area papan tulis yaitu 350-500 lux

Secara teoritis, pernyataan diatas berarti peningkatan nilai intensitas akibat penggunaan bidang pemantul, hanya terbatas kepada akibat penyebaran sinar pantul oleh plafond menuju objek horizontal.

5. Bidang pemantul yang efektif meningkatkan intensitas cahaya mencapai kenyamanan visual sesuai standar adalah pemantul eksterior 30° dan pemantul interior 0° pada sisi utara serta pemantul eksterior 45° dan pemantul interior 30° pada sisi selatan dengan menggunakan material stainless steel sebagai media pemantul

Secara teoritis, pernyataan diatas berarti kombinasi sudut-sudut tersebut pada pemantul efektif mengarahkan sinar menuju area sepertiga lebar plafond ruangan, dimana material tersebut yang sempurna memantulkan sinar tanpa menimbulkan *glare*

Dari hasil dua tahap analisis pada bab IV dan V, ternyata bidang pemantul benar mampu meningkatkan intensitas cahaya. Akan tetapi, kurang mampu meningkatkan distribusi cahaya dalam ruang kelas.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari pengolahan data dan analisis hasil simulasi *ray-tracing* dan simulasi intensitas cahaya tahap I dan II terhadap beberapa variasi dari bidang pemantul dan material pada lima Sekolah Dasar dengan masing-masing pada ruang kelas utara dan selatan, yang menjadi studi kasus pada wilayah Kota Depok untuk kemudian di usulkan pengembangan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Dengan mengarahkan sinar pantul dari bidang pemantul menuju plafond maka terbukti bahwa bidang pemantul mampu meningkatkan nilai intensitas pencahayaan ruang kelas baik ruang kelas utara maupun selatan. Namun distribusi cahaya ruang kelas belum mampu ditingkatkan oleh bidang pemantul tersebut baik ruang kelas utara maupun selatan

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa bidang pemantul mampu meningkatkan kenyamanan visual apabila memenuhi beberapa aspek yaitu penempatan, pengarahannya sinar pantul, kondisi sekitar bidang pemantul, material pemantul, dan material ruang kelas.

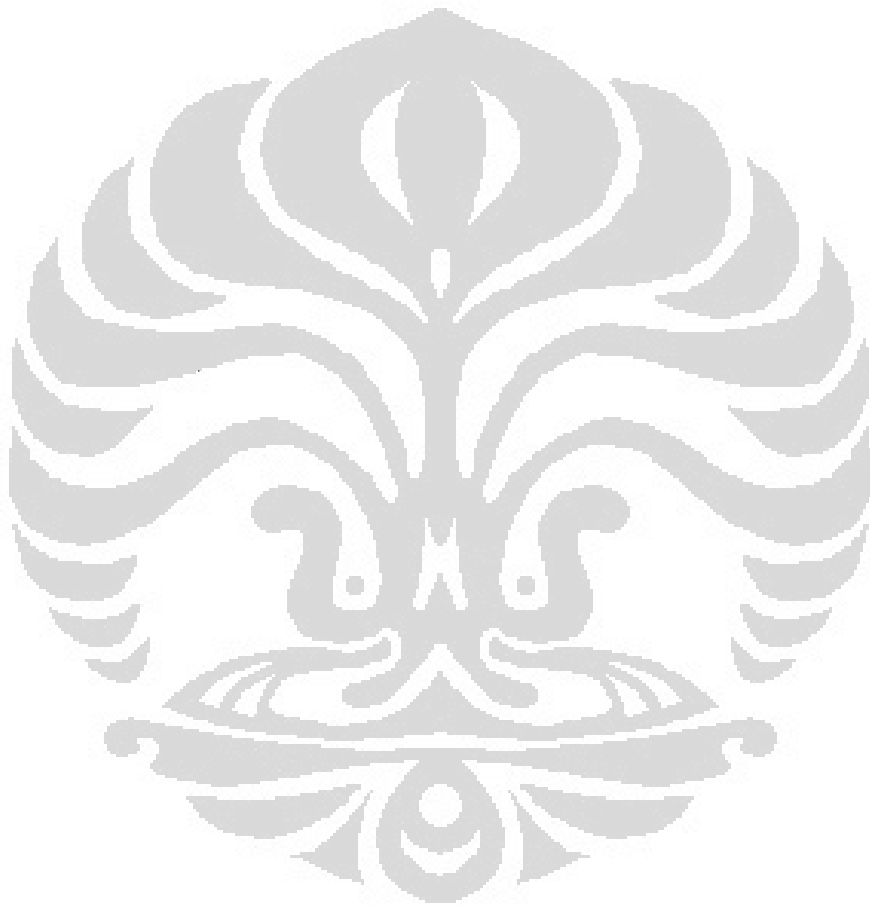
6.2. Saran

Ada beberapa pengembangan yang bisa dilakukan yaitu:

1. Untuk meningkatkan kemampuan pemantul terutama dalam hal pemerataan distribusi pencahayaan ada beberapa hal yang mungkin dapat dilakukan perubahan pada beberapa aspek dari ruang kelas, yaitu perubahan plafond ruangan dari plafond datar menjadi plafond sesuai kemiringan atap (*sloped ceiling*), mempertinggi (memperbesar) jendela atas, serta memasukkan cahaya melalui bukaan atap pada bagian atas atap, akan tetapi perlu digunakan pemantul tambahan dibawah bukaan tersebut untuk mencegah masuknya sinar matahari secara langsung



2. Untuk pengembangan pada penelitian mengenai bidang pemantul, maka perlu melakukan: analisa bidang pemantul pada ruang kelas yang terletak di lantai 2 dan seterusnya, analisa bidang pemantul yang terletak di bukaan berorientasi timur-barat pada bangunan *single loaded corridor*, analisa bidang pemantul yang terletak di bukaan berorientasi utara-selatan pada bangunan *double loaded corridor*





DAFTAR PUSTAKA

Assaf, Leonard.

Glare and Illuminance Uniformity as Components of Innovative Glazing Performance. Instituto de Luminotecnia, Universidad Nacional de Tucuman. Argentina: 1997.

CIBSE (Chartered Institution of Building Service)

Technical Memorandum 10, Calculation of Glare Indices. CIBSE: 1985.

Council, National Research.

Green School: Attributes for Health and Learning. The National Academies Press. Washington, D.C. 2006.

Depdiknas

Inisiasi Ilmu Pengetahuan Alam. Departemen Pendidikan Nasional. 2007

Depdiknas.

Program Pembangunan Pendidikan Nasional Tahun 2000-2004. Departemen Pendidikan Nasional. 2004.

Dunlop, Joni.

Daylight Tied to Improved Student Performance, ASHRAE Journal. 2005.

Egan, M. David dan Olgyay, Victor W.

Architectural Lighting. McGraw-Hill: New York. 2002.

Hardjanto, Gatot Boedi.

Perbaikan Kualitas Pencahayaan Alami dalam Ruang Kelas Melalui Rekayasa Komponen Pengendali Cahaya, Kasus: Sekolah Ma'had Al-Zaytun di Indramayu. Tesis Program Studi Arsitektur, Institut Teknologi Bandung. 2004.

Hermawan.

Sistem Pencahayaan Buatan efektif dan Efisien pada Bangunan Gedung. Jurnal Ilmiah Nasional Efisiensi dan Konservasi Energi, Universitas Diponegoro. Volume 1. 2005.

Honggowidjaja, S.P.

Pengaruh Signifikan Tata Cahaya pada Desain Interior. Jurnal Dimensi Interior Juni 2003 / Vol 1 / No 1. Jurusan Desain Interior, Fakultas Seni dan Desain Universitas Kristen Petra Surabaya. 2003.



Leslie, Russell P.

Guide for Daylighting Schools. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. 2004.

Liliana

Pemodelan Pemantulan dan Pembiasan Cahaya oleh Obyek Mengkilap dan Obyek Transparan dengan Menggunakan Ray Tracing. Fakultas Teknologi Industri, jurusan Teknik Informatika, Universitas Kristen Petra. Surabaya: 2003.

Lippsmeier, Georg.

Bangunan Tropis, Erlangga, Jakarta. 1997.

Mahone Group, Heschong.

Daylighting in Schools An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance. Heschong Mahone Group. 1999.

Mangunwijaya, Y.B. , Dipl. Ing.

Pengantar Fisika Bangunan. Djambatan. Jakarta. 1997.

Meiden

Lighting with Artificial Light Booklet 1. Fordergemeinschaft Gutes Licht (FGL), Berlin: 2004

Mintorogo, Santoso, Danny.

Strategi "Daylighting" pada Bangunan Multi-Lantai Diatas dan Dibawah Permukaan Tanah. Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur Universitas Petra Surabaya Vol. 27 No. 1 Juli 1999.

MIT, Open Course Ware

Daylight as Design Factor. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge; 2006.

Nicklas, Michael H. dan Bailey, Gary B.

Analysis of Performance of Students in of Daylit Schools. Innovative Design. 1992.

Pekerjaan Umum, Departemen.

Tata Cara Perancangan Penerangan Alami Siang Hari untuk Rumah & Gedung dan Penerangan Buatan di dalam Gedung. Yayasan Lembaga Penelitian Masalah Bangunan (LPMB).



Santosa, Adi

Pencahayaan pada Interior Rumah Sakit: Studi Kasus Ruang Rawat Inap Utama Gedung Lukas, Rumah Sakit Panti Rapih, Yogyakarta. Jurnal Dimensi Interior, Vol. 4, No.2, Desember 2006. Universitas Kristen Petra. Surabaya: 2006.

Satwiko, Prasasto.

Fisika Bangunan 1 edisi 2. Penerbit Andi: Yogyakarta. 2005.

Satwiko, Prasasto.

Fisika Bangunan 2 edisi 1. Penerbit Andi: Yogyakarta. 2006.

Spencer, Stephen.

Examining Radiosity Overview. Jurnal SIGGRAPH: 1993.

Tangoro, Dwi, Ir.

Utilitas Bangunan. UI Press. Jakarta. 1999.

Tobing, Melanie Christiane L.

Peningkatan Kualitas Pencahayaan Alami di Ruang Kelas dengan Menggunakan Bidang Pemantul Cahaya, Kasus: Sekolah Ma'had Al-Zaytun di Indramayu. Tesis Program Studi Arsitektur, Institut Teknologi Bandung. 2005.

USEA (United States Environmental Agency)

Air and Radiation Protection, 6202J. Air and Radiation Protection. EPA 430-B-95-009. USEA: 1995



LAMPIRAN

LAMPIRAN A: CONTOH HASIL SIMULASI INTENSITAS CAHAYA

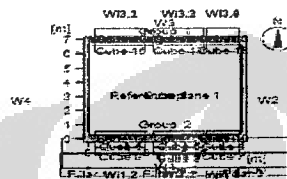
Object : h
 Installation : h
 Project number : h
 Date : 00.00.2008



1 Room

1.1 Description, Room

1.1.1 Floor plan



Room data:

W1 :	6.00	80.0%
W2 :	7.00	80.0%
W3 :	6.00	80.0%
W4 :	7.00	80.0%
W5 :	----	----
W6 :	----	----
Floor :	----	83.0%
Ceiling :	----	80.0%
Room height [m] :	2.45	
Height of reference plane [m] :	0.75	

Reflectance:

(This section is merged into the Room data table above for better readability.)

Structural elements

Pl : Pillar
 Tr : Partition
 Wo : Real working surface
 m : Virtual measuring area
 S : Skylight
 W : Picture
 Wi : Window
 Dr : Door
 F : Furniture

Gambar L.A.1: Room Description, Floor Plan

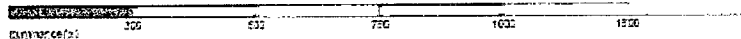
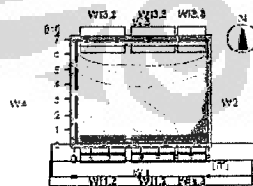
Object : h
 Installation : h
 Project number : h
 Date : 00.00.2008



1 Room

1.2 Summary, Room

1.2.1 Result overview, Reference plane 1



General
 Calculation algorithm used : Average indirect fraction
 Height of evaluation surface : 0.75 m
 Calculation mode used : Overcast sky acc. CIG

Date, Time: 24.12. 12:00 (TST 12:07)

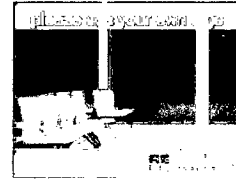
Geographical data:
 Location : Depok
 Latitude (degrees) : -6.25 °
 Longitude (degrees) : 106.44 °
 North angle : 0.00 °

Illuminance
 Average daylight ratio : Cav : 0.6
 Minimum daylight ratio : Cmin : 0.75
 Maximum daylight ratio : Cmax : 0.45

Gambar L.A.2: Summary, Result Overview



Object : h
 Installation : h
 Project number : h
 Date : 05.05.2022



1.3 Calculation results, Room

1.3.2 Table, Reference plane 1 (E)

(m)	6.45	6.65	6.85	7.05	7.25	7.45	7.65	7.85	8.05	8.25	8.45	8.65	8.85	9.05	9.25	9.45	9.65	9.85	10.05
6.0	1036	1423	1710	1850	1920	1970	2000	2020	2030	2035	2038	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
5.8	825	1065	1210	1280	1320	1350	1370	1385	1395	1400	1403	1405	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413
5.6	650	830	930	990	1020	1040	1055	1065	1070	1073	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083
5.4	510	645	715	750	770	785	795	800	803	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814
5.2	405	505	560	585	600	610	615	618	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630
5.0	320	400	440	460	470	475	478	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491
4.8	255	320	350	365	375	380	382	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395
4.6	205	255	275	285	290	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305
4.4	165	205	220	225	228	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243
4.2	135	165	175	180	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196
4.0	110	135	145	150	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166
3.8	90	110	115	118	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134
3.6	75	90	95	98	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
3.4	65	75	78	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
3.2	55	65	68	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
3.0	48	55	58	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
2.8	42	48	50	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
2.6	38	42	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
2.4	35	38	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
2.2	32	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
2.0	30	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
1.8	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
1.6	26	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
1.4	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
1.2	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
1.0	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
0.8	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40

Height of the reference plane : 0.76 m
 Average Illuminance Eav : 732 lx
 Minimum Illuminance Emin : 145 lx
 Maximum Illuminance Emax : 1920 lx
 Uniformity g1 Emin/Eav : 1 : 4.93 (0.20)
 Uniformity g2 Emin/Emax : 1 : 12.95 (0.08)
 Calc. Time : 24.12. 12:03 (TET 12:07)

Gambar L.A.3: Calculation Result, Reference Plan: Intensitas Bidang Kerja

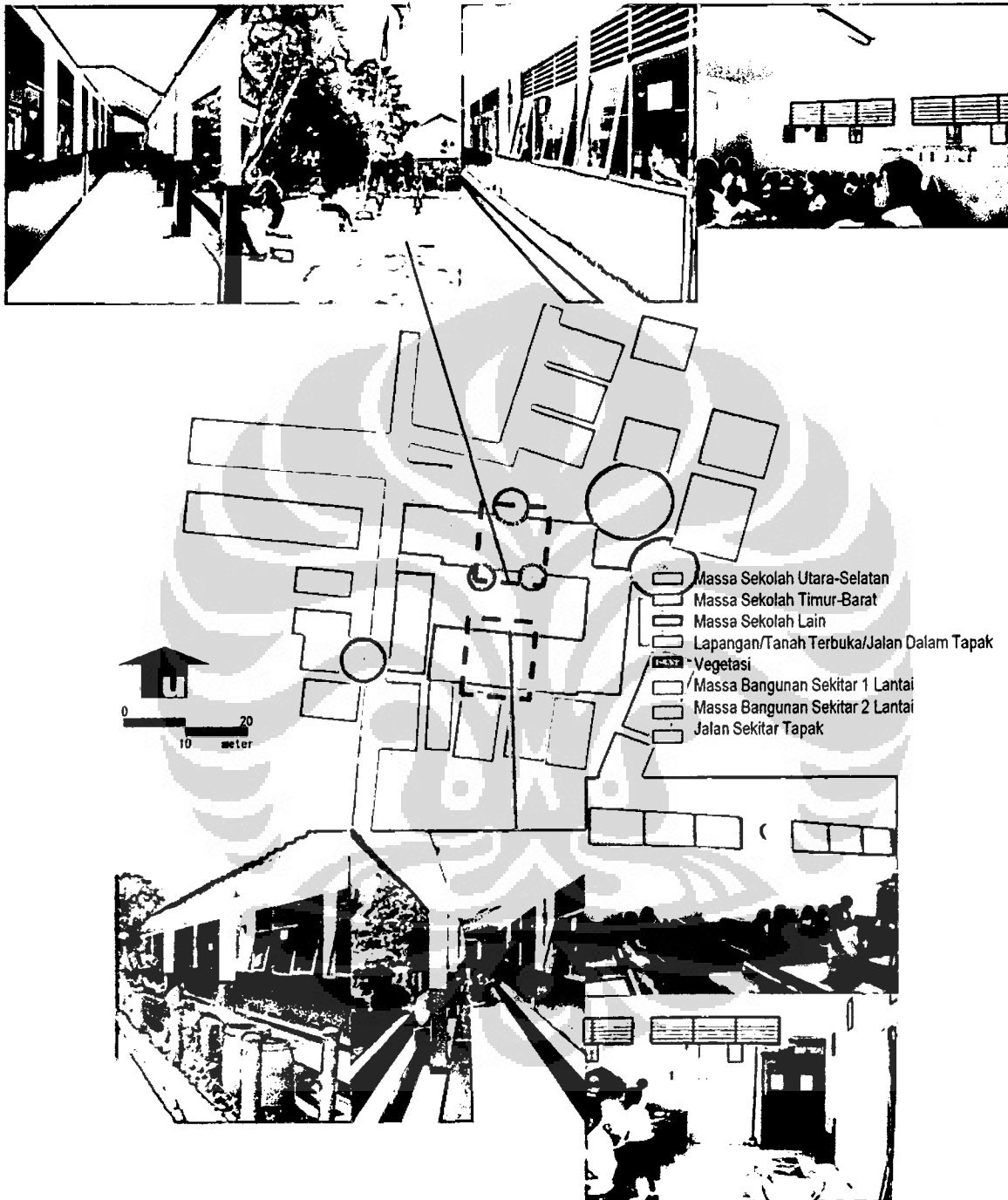


Gambar L.A.4: 3D Illumination View from Left



LAMPIRAN B: DETAIL STUDI KASUS

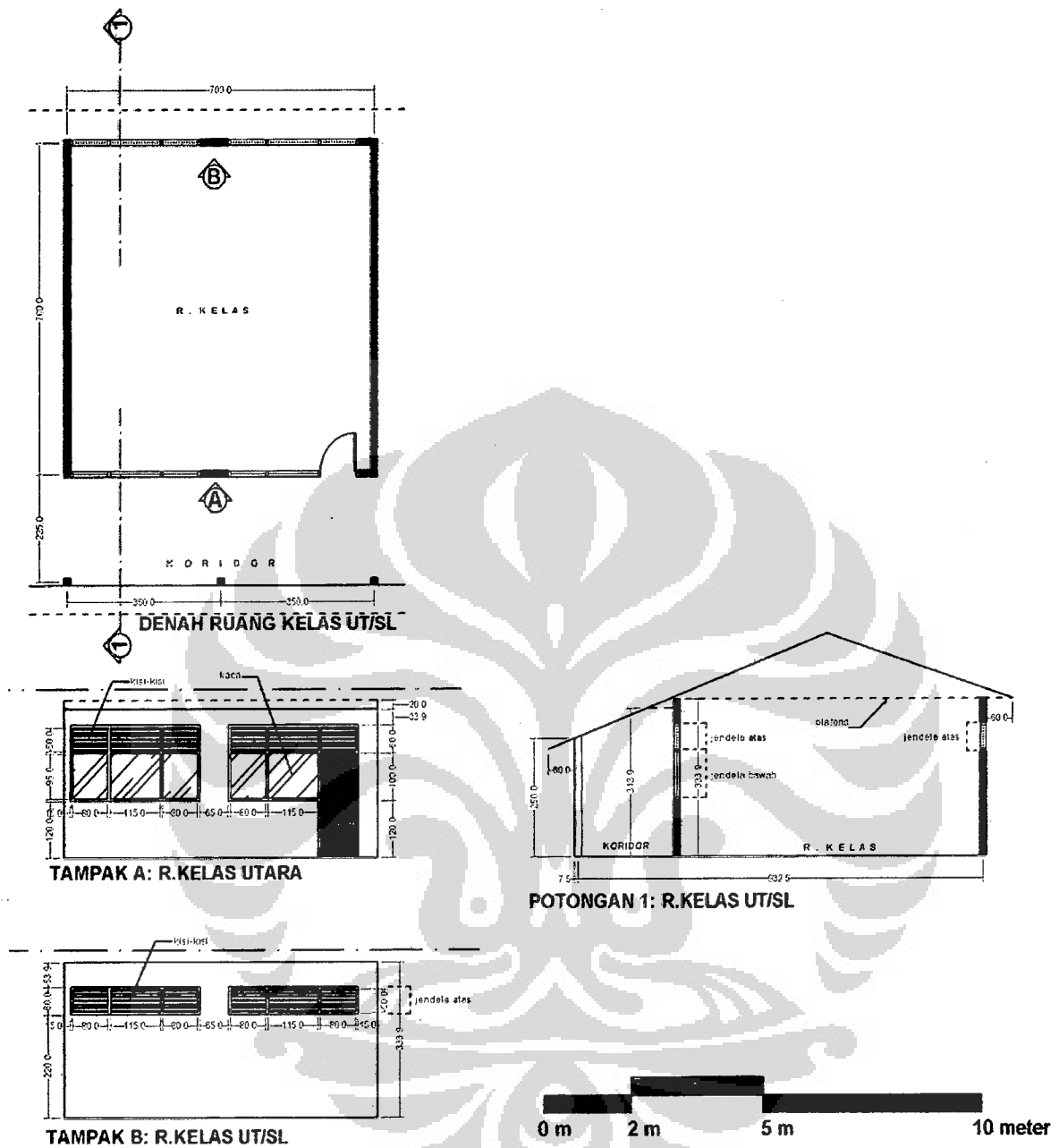
B.1. SDN Mekarjaya 27



Gambar L.B.1:

SD Mekarjaya 27 Utara (kiri atas-kanan atas: koridor utara, posisi bangunan utara terhadap lapangan, bukaan sisi selatan ruang kelas utara)

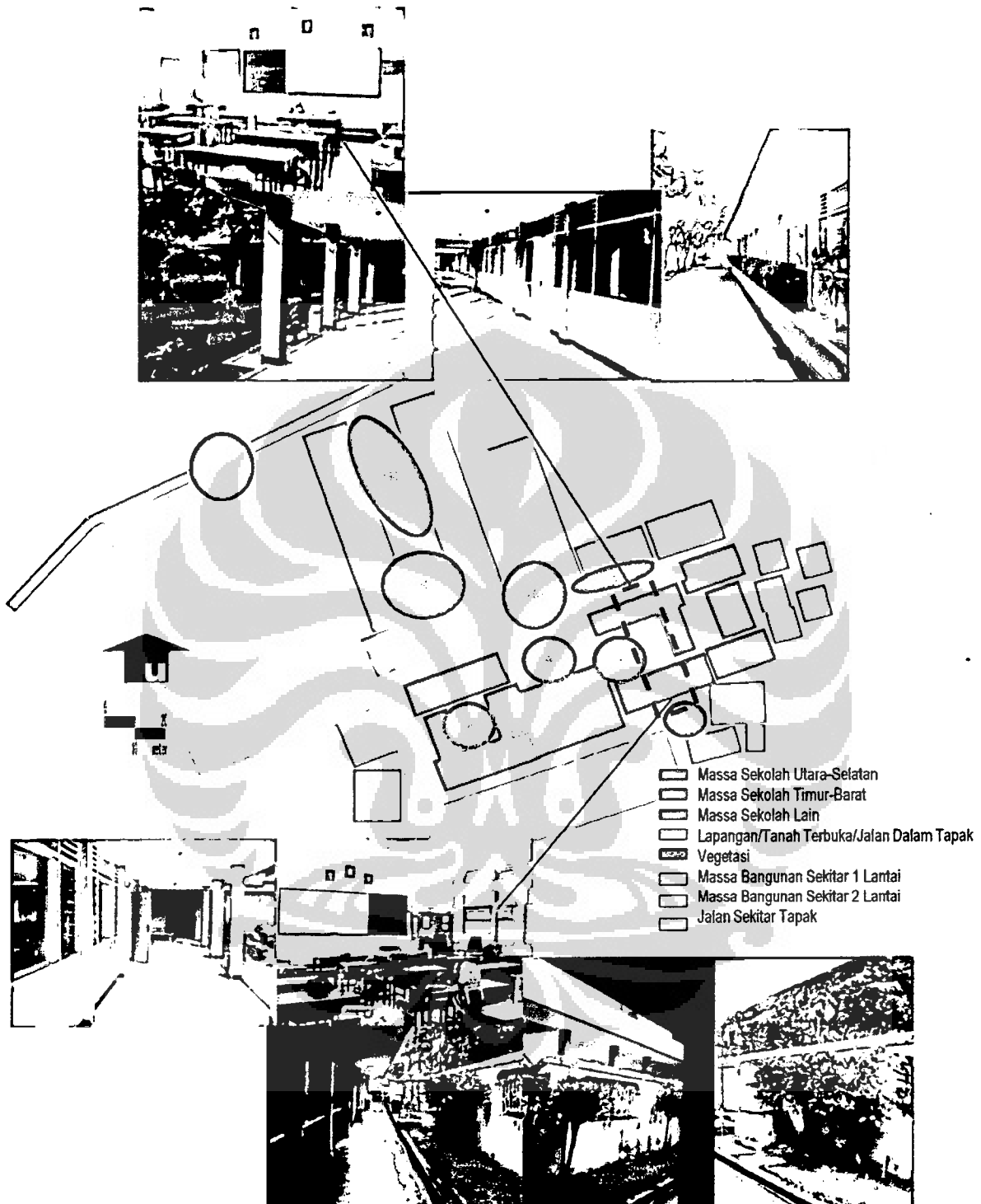
SD Mekarjaya 27 Selatan (kiri bawah-kanan bawah: koridor selatan, teritisan selatan, ruang kelas selatan)



Gambar L.B.2: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara dan Ruang Kelas Selatan SDN Mekarjaya 27

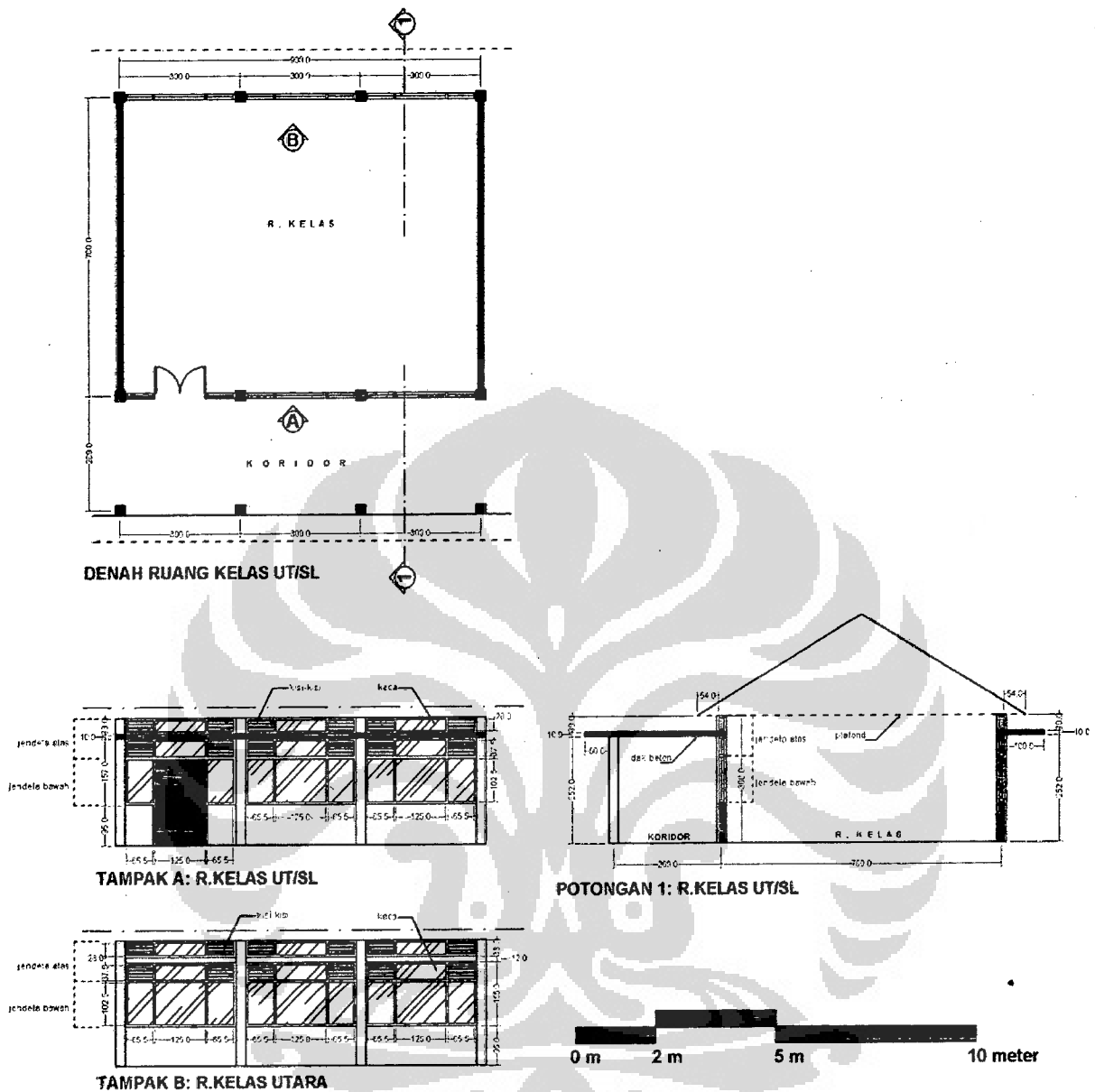


B.2. SD Kwitang 8 PSKD



Gambar L.B.3:

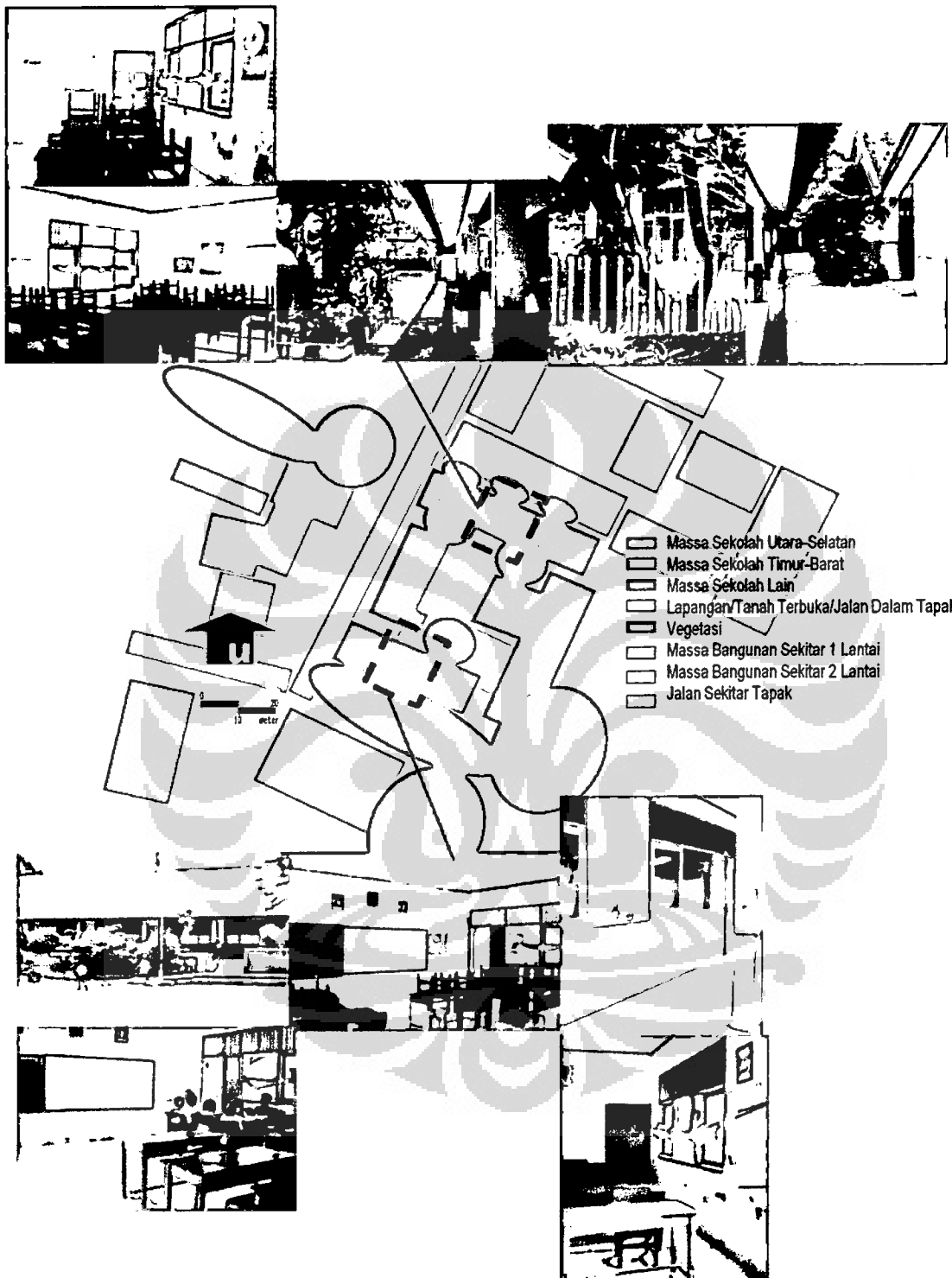
SD Kwitang 8 PSKD Utara (Kiri Atas-Kanan Atas: Ruang Kelas Utara, Koridor Utara, dan Sisi Tanpa Koridor Utara), dan
SD Kwitang 8 PSKD Selatan (Kiri Bawah-Kanan Bawah: Koridor Selatan, Ruang Kelas Selatan, dan Sisi Tanpa Koridor Selatan)



Gambar L.B.4: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara dan Ruang Kelas Selatan SD Kwitang 8 PSKD



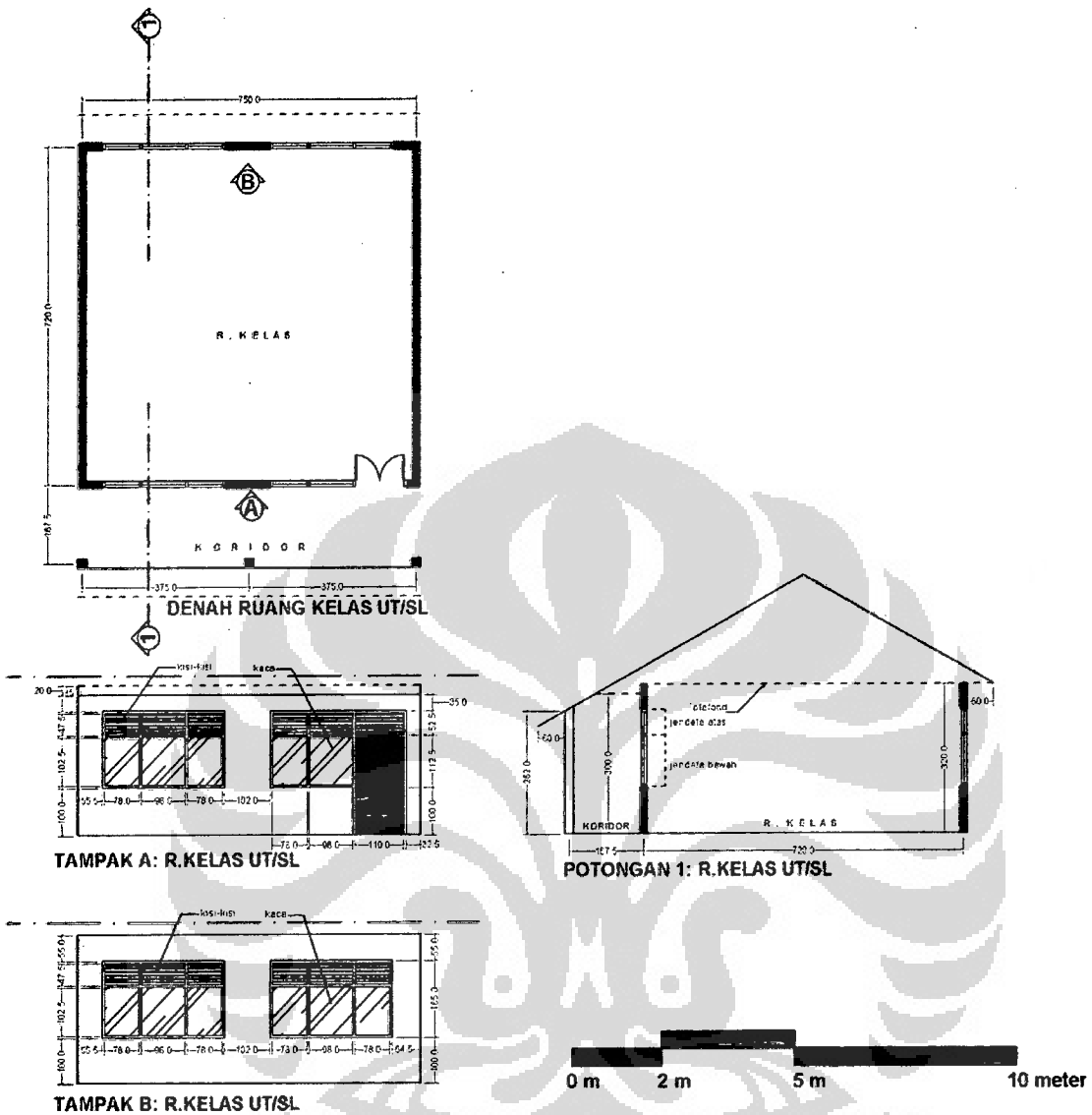
B.3. SDN Depok 3



Gambar L.B.5:

SDN Depok 3 Utara (Kiri Atas-Kanan Atas: Ruang Kelas Utara, Koridor Utara, dan Sisi Tanpa Koridor Utara), dan

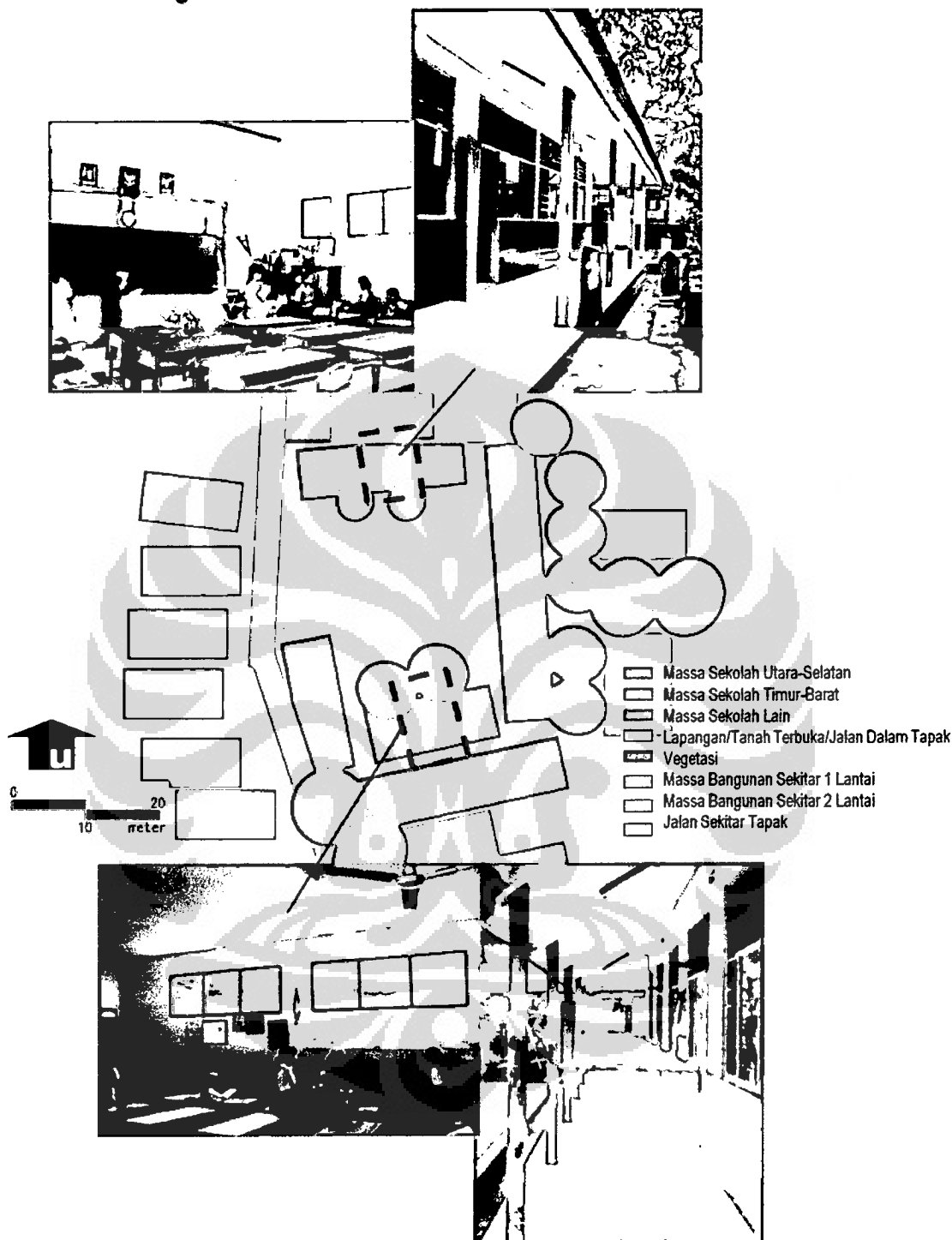
SDN Depok 3 Selatan (Kiri Bawah-Kanan Bawah: Koridor Selatan, Ruang Kelas Selatan, dan Sisi Tanpa Koridor Selatan)



Gambar L.B.6: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara dan Ruang Kelas Selatan SDN Depok 3

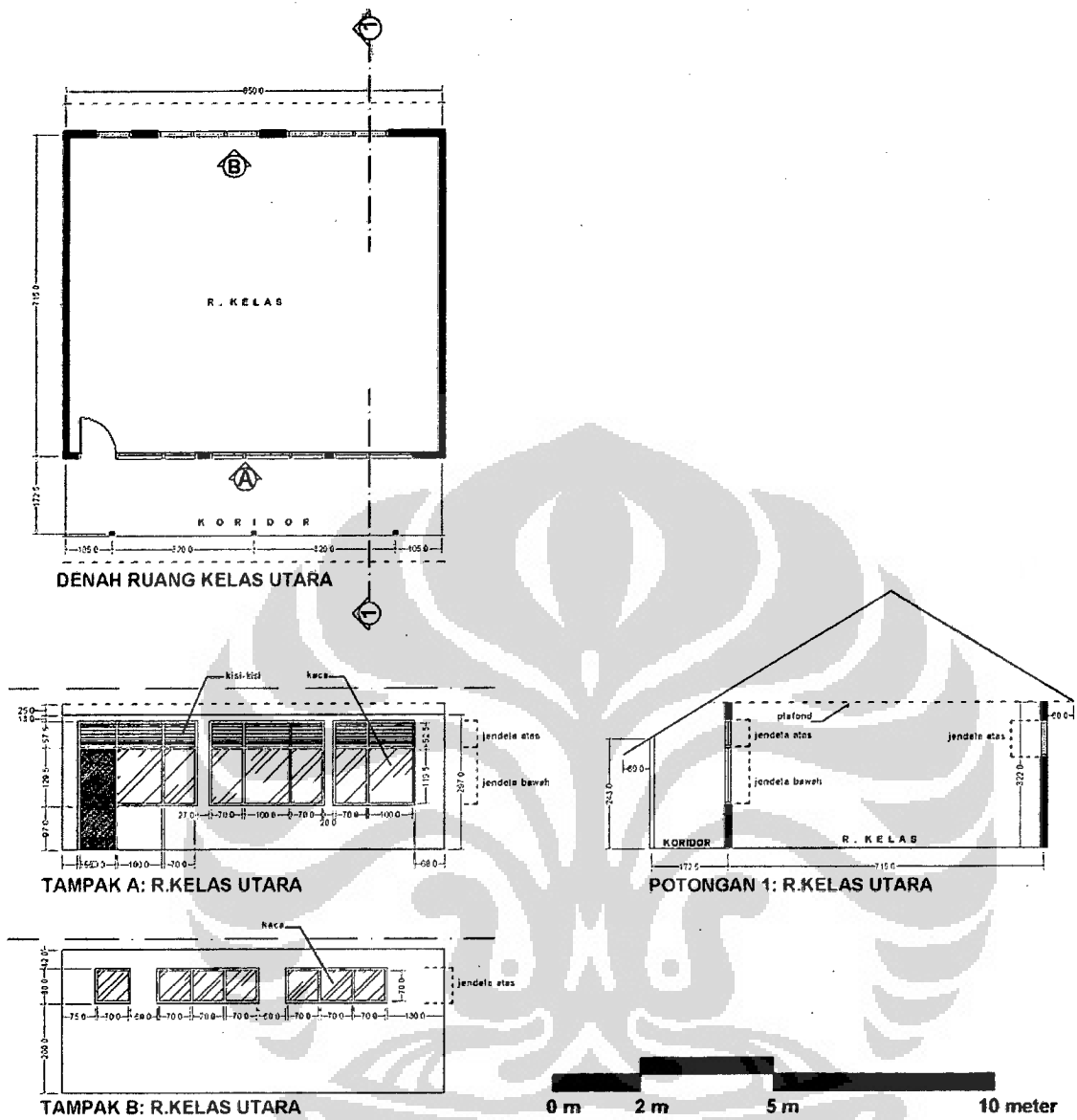


B. 4. SD Pemuda Bangsa

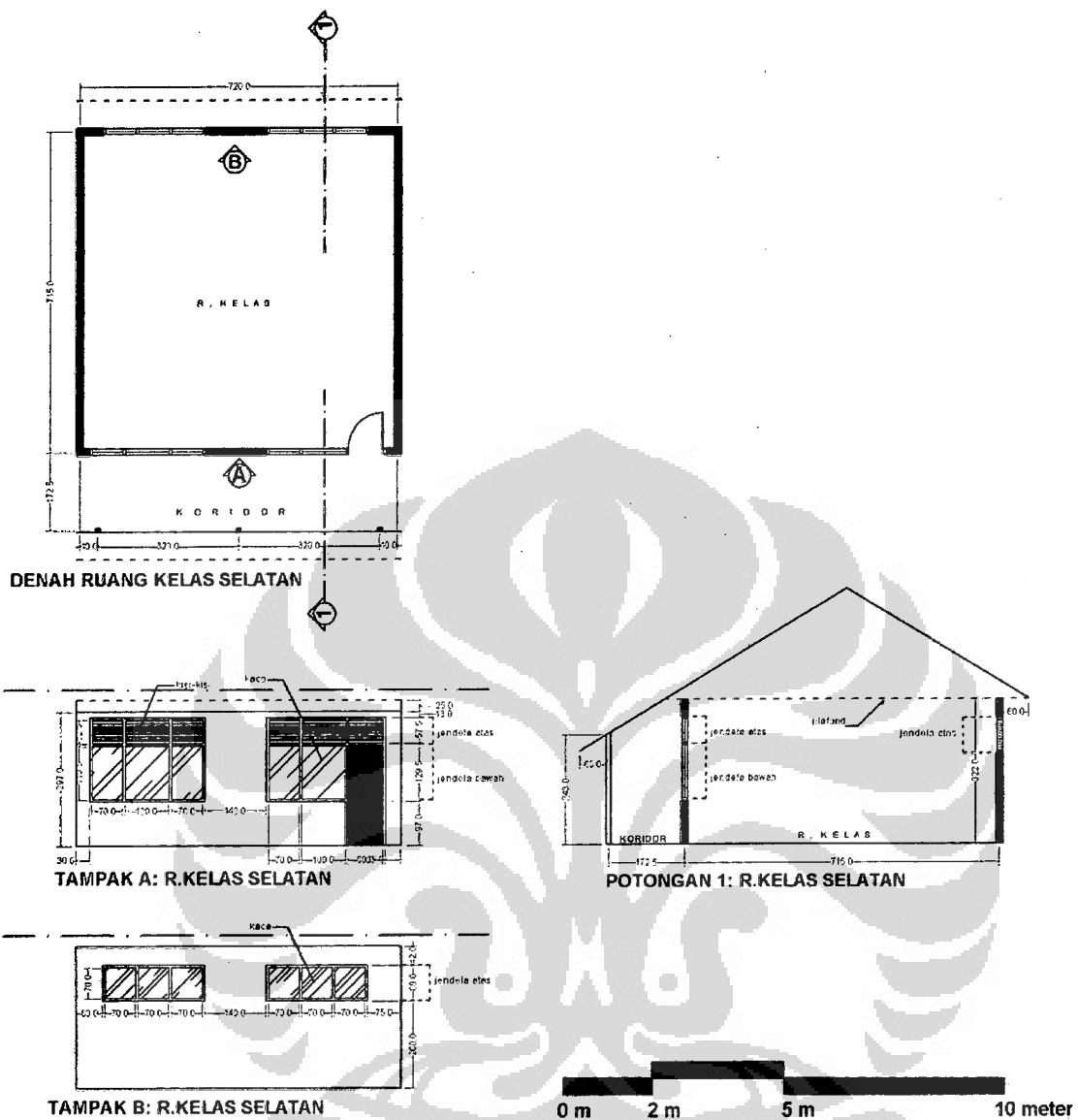


Gambar L.B.7:

SD Pemuda Bangsa Utara(Kiri Atas-Kanan Atas: Ruang Kelas Utara, Koridor Utara), dan SD Pemuda Bangsa Selatan (Kiri Bawah-Kanan Bawah: Koridor Selatan, Ruang Kelas Selatan)



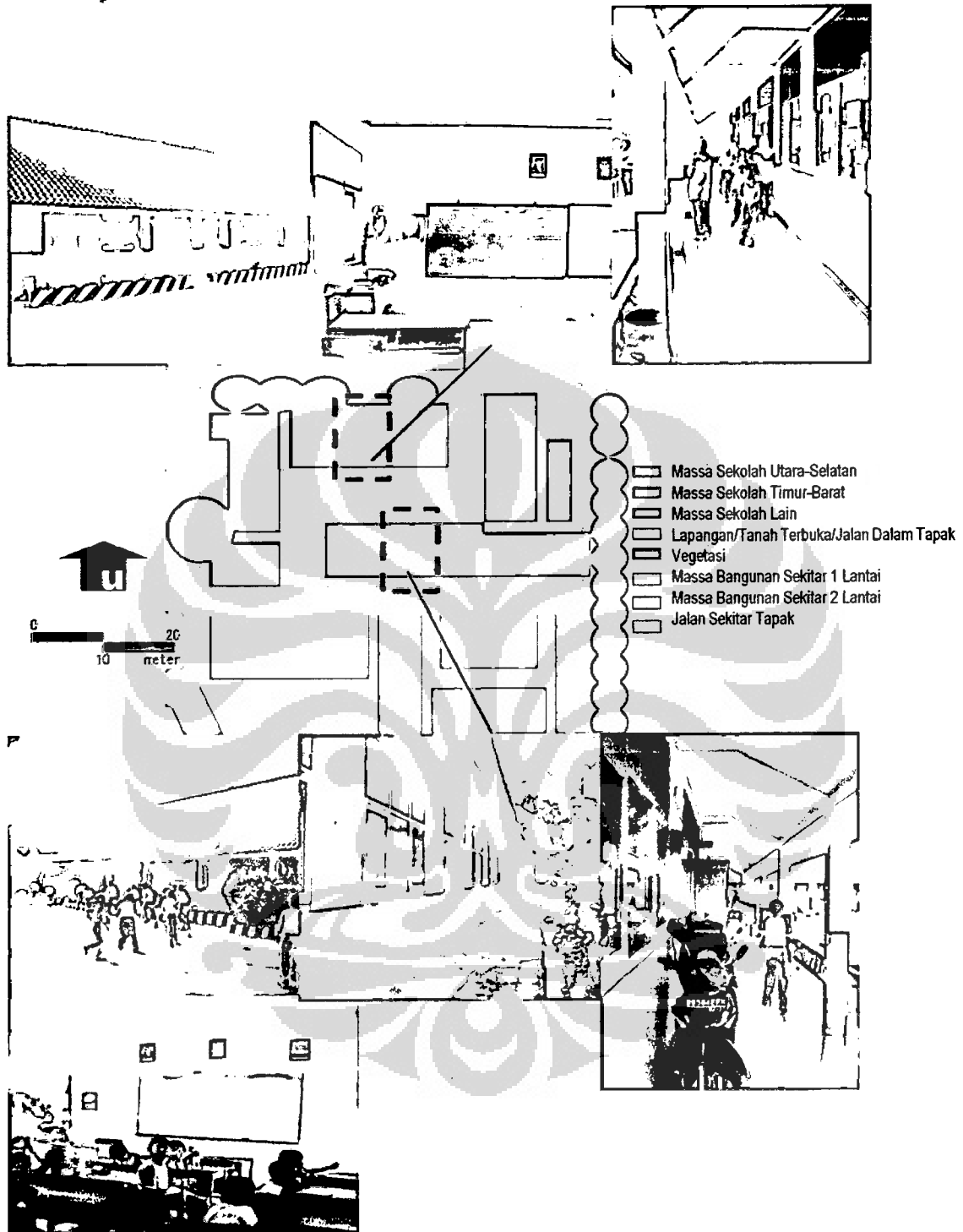
Gambar L.B.8: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara SD Pemuda Bangsa



Gambar L.B.9: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Selatan SD Pemuda Bangsa

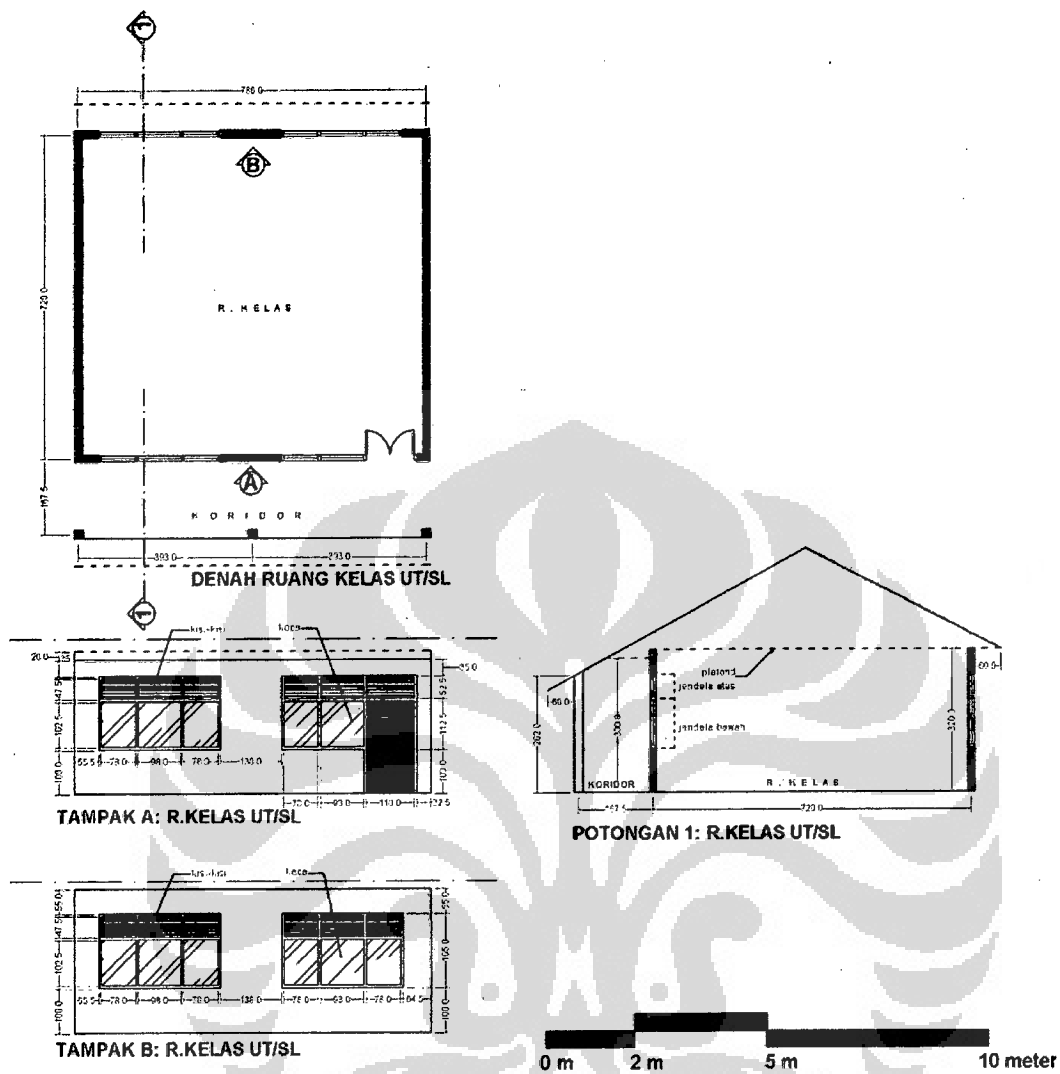


B.5. SDN Beji 4



Gambar L.B.10:

SDN Beji 4 Utara(Kiri Atas-Kanan Atas:Tampak Depan Bangunan Utara, Ruang Kelas Utara, Koridor Utara), dan SD Pemuda Bangsa Selatan (Kiri Bawah-Kanan Bawah: Bangunan Selatan, Sisi Tanpa Koridor Bangunan Selatan, Koridor Selatan, Ruang Kelas Selatan)



Gambar L.B.11: Denah, Tampak, dan Potongan Ruang Kelas Utara dan Selatan SDN Beji 4

WAKTU TERASA SEMAKIN BERLALU
TINGGALKAN CERITA TENTANG KITA
AKAN TADA LAJI KINI TAWAMU.
TUK HAPUSKAN SEMUA SEPI DI HATI

TERINGAT DI SAAT KITA TERTAWA BERSAMA
CERITAKAN SEMUA TENTANG KITA

ADA CERITA TENTANG AKU DAN DIA
DAN KITA BERSAMA SAAT DULU KALA
ADA CERITA TENTANG MASA YANG INDAH
SAAT KITA BERDUA SAAT KITA TERTAWA

(dipopulerkan oleh Peterpan, dalam Album Taman Langit)

Tesis ini kupersembahkan kepada: sri suprihyati, suwatdi bachrun, fajar yudianto, rizal bachrun, lucia wasitomo, bu joko, pa abim, mba tanti n mas budi, hermanto, alm., mba endang, shanty "nice", lilik "L" or "carlo" or "cici", ditta, dita, dita, dan ditya, mba fa, miau, ario, galih, aan, pipin, pa indra, mayjah, mas dodo, mas wawan, anes, vera "pera" wira, risti, fernando "edo", mba uci, pa minta, mas dedi, mba ira, mba tari, mas endang, mas hadi, mas firman, mas sofyam, mba yg diperpus, ibu yg diperpus, abang yg jual minuman di ujung katek, ibu yg jual mie goreng, mba no, all of elevation personel: yudha, BF, nok2, jenny, keke, elevation managerial: jasmine, alim, nunu, ling2, additional drummer: andri, aa sodik, wa azis, pa ema, ine, my pure inspiration: risza "kitchi" nuralim (and his friends: priscilla epifania, felicia mariza, sri budiati, dewi puspa sari, dewina) iin "jenong" yuni astari (and his friends: ary, coky, olin, pa romli), alisa "icha" or "I" or "otome" dewanti, ni nyoman widyaari nugraha, sri wahyuni, hesty ning tyas, elfia rahmi, monika setiawan, my another inspirational: mike portnoy, afghan, jikustik, rossa, two triple o, cindy bernadette, kerispatih, incognito, elevation, dream theater, carlo, gilang, nona igun, boncel 1, boncel 2, oom ponk, tante lucy, lucy wiryono, fiatika ambadar, iklan indomie, zlatan ibra, jose mourinho, javier zanetti, massimo moratti, giacinto facchetti, alm, lampard, roberto mancini (thx for three scudetto), susana perrini (thx for bali vacation), my device: k750i, esia, kompi, nappy, sonor, paiste, simbada, a4tech, everex, amd athlon, olympus, canon eos 100, for not my device: nikon d80, sigma 50-500, sigma 18-200 os, SB800, sigma 10-22, sigma 70-200, Nikon d50 IR harlim v7. Last for my web: nerazzurri-labeneamata, imagefap, detik.com, yahoo, friendster, facebook, 21cineplex.com, bursa.fotografer.net, oh ya thx sebesarnya juga to: mely, jumbo, macan, guro, kun, abu, puma, chami, chabi. Thx buat semua yang tdk dapat disebutkan satu persatu atas diluncurkannya album pertama ini.abraham use: sonor drum, cymbal set paiste, paiste 12" splash, paiste 301 18" crash. Domo arigato gozaimashita. grazie, ciao.