



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN MATERIAL ORGANIK  
TERHADAP SUHU KORIDOR LINGKUNGAN**

**Kasus: Jalan lingkungan pada kawasan Malioboro Yogyakarta**

**TESIS**

**BUDI SISWANTO  
0706173976**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
PROGRAM MAGISTER TEKNOLOGI BANGUNAN  
DEPOK  
JULI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN MATERIAL ORGANIK  
TERHADAP SUHU KORIDOR LINGKUNGAN**

**Kasus: Jalan lingkungan pada kawasan Malioboro Yogyakarta**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Arsitektur**

**BUDI SISWANTO  
0706173976**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN ARSITEKTUR  
PROGRAM MAGISTER TEKNOLOGI BANGUNAN  
DEPOK  
JULI 2010**

## ABSTRAK

Nama : Budi Siswanto  
Program Studi : Magister Arsitektur  
Judul : Pengaruh Penambahan Material Organik Pada Suhu Koridor Lingkungan

Papan semen partikel, sebagai material yang mengarah pada bahan komposit organik (semen dan limbah kayu sengon). Yang merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi tingkat radiasi matahari. Sementara radiasi matahari merupakan faktor utama perbedaan iklim, jumlah yang diterima oleh permukaan bumi tergantung pada energi radiasi matahari, yang pada akhirnya membentuk apa yang disebut *Radiation Balance*. Untuk mengurangi tingkat radiasi matahari maka suatu permukaan diharapkan memiliki nilai *reflectivitas* dan *emissivitas* yang relevan, hal ini dapat dilakukan pada iklim tropis lembab. Dan berdasarkan pengujian kualitas nilai *conductivity* dan *conductance*, material hasil olahan limbah organik kayu ini diharapkan dapat meningkatkan kenyamanan termal.

Dengan metode kuantitatif dan observasi-eksperimental dalam melakukan pengambilan data pada penelitian ini. Kemudian dilakukan perlakuan pada dinding koridor lingkungan dengan menambah papan semen partikel. Dari perlakuan dinding papan semen partikel, diukur reduksi temperatur luar yang dihasilkan. Setelah dihitung temperatur *sol-air* pada dinding papan semen partikel dan dinding existing. Selanjutnya, dinding papan semen partikel dibandingkan hasil reduksi temperatur dan temperatur *sol-air*nya dengan koridor yang menggunakan dinding existing. Sementara sebagai alat bantu yang digunakan dalam observasi penelitian adalah simulasi komputer *ecotect*, alat uji *hot-wire*, dan *pyranometer weather station*.

Hasil yang didapatkan, temperatur luar (TO) dinding existing dan temperatur luar (TO) dinding papan semen partikel terdapat selisih 1,906°C, (temperatur luar dinding papan semen partikel lebih rendah). Konsekuensinya adalah pada pemakaian papan semen partikel, temperatur nyaman (23-29°C) lebih lama bertahan 1 jam dibandingkan dinding existing. Pada data temperatur *sol-air* dinding papan semen partikel lebih rendah, dengan kisaran selisih antara 1,9-9,19°C. Selisih yang fluktuatif ini disebabkan penerimaan radiasi dan kecepatan angin yang berbeda setiap jamnya. Hal ini akan mereduksi penggunaan listrik untuk pendinginan sebesar 50% dari pola yang dihasilkan material batu bata sehingga terjadi penghematan yang mendukung mitigasi *climate change*.

**Kata kunci:** *conductance, conductivity, climate change, papan semen partikel, sol-air*

## **ABSTRACT**

*Name : Budi Siswanto  
Study Program : Master of Architecture  
Title : Addition Influence of Organic Material At Passage Way  
Temperature of Neighborhood*

*Cement boarded board, as material leading to organic composite material (cements and timber raffle sengon). Which is one of alternative of lessen level of radiation of the sun. Whereas radiation of the sun is different climate primary factor, amount received by equiamplitude surface of ground depend on the sun radiant energy, in the end forms is so-called radiation balance. To lessen level of radiation of the sun hence an equiamplitude surface is expected to has relevant reflectivity value and emmisivity, this thing can be done at damp tropical climate. And based on assaying of quality of value conductivity and conductance, material result of organic raffle processing of this timber expected able to increase comfort is mall.*

*With quantitative method and observation-experimental in doing retrieval of data at this research. Then is done treatment at environmental passage way wall by adding cement boarded board. From treatment of cement boarded board wall, measured reduction of temperature outside yielded. After calculated temperature sol-air at cement boarded board wall and wall existing. Hereinafter, cement boarded board wall compared to result of reduction of its the temperature and sol-air temperature with passage way using wall existing. While as a means of assists applied in observation of research is computer simulation ecotect, test device hot-wire, and pyranometer weather station.*

*Result got, outdoor temperature (TO) wall existing and outdoor temperature (TO) cement boarded board wall there is difference 1.906°C, (temperature outdoor lower cement boarded board wall). Its the consequence is at usage of cement boarded board, balmy temperature (23-29°C) longer stayed 1 hour compared to wall existing. At temperature data sol-air lower cement boarded board wall, with the range of difference between 1.9-9.19°C. Difference which this fluktuatif caused receiving of different radiation and wind velocity every its(the hour(clock. This thing will reduce electrical usage for cooling equal to 50% from cupola yielded by brick material so that happened thrift that is supporting mitigasi climate change.*

**Keyword: cement bonded board, conductivity, conductance, climate change, sol-air**

# DAFTAR ISI

JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
3.2.1 Pengembangan Solusi <i>Urban Climate</i> .....	1
3.2.2 <i>Climate Change</i> : Reduksi Suhu Udara Luar (TO) Sebagai Unsur Mitigasi.....	1
3.2.3 Potensi Material Organik Sebagai Regulator <i>Radiation</i> <i>Budget</i> .....	3
3.2.4 Penetapan Lokasi Penelitian.....	4
1.2. Permasalahan Penelitian.....	5
1.3. Pertanyaan Penelitian.....	7
1.4. Tujuan Penelitian.....	7
1.5. Manfaat Penelitian.....	8
1.6. Lingkup Penelitian.....	8
1.7. Susunan Penulisan.....	9
1.8. Alur Pemikiran.....	10
<b>BAB II. TINJAUAN KEPUSTAKAAN</b> .....	11
2.1. Iklim Tropis Lembab.....	11
2.2. Iklim Perkotaan.....	12
2.2.1. Kenyamanan Termal ( <i>Thermal Comfort</i> ).....	13
2.2.2. Perpindahan Panas ( <i>Heat transfer</i> ).....	15
2.2.3. Radiasi Matahari.....	16
2.2.4. Pengertian <i>Radiation Balance</i> dan <i>Radiation Budget</i> .....	18
2.2.5. Radiasi Matahari Pada Permukaan Bumi ( <i>Insolation</i> ).....	18
2.3. Material Bangunan.....	20
2.3.1. Papan Semen Partikel.....	20
2.3.2. Interaksi Panas Pada Permukaan Material.....	22
2.3.3. Suhu Permukaan Material ( <i>Sol-air Temperature</i> ).....	23
2.3.4. Karakteristik material terhadap Suhu ( <i>Thermal</i> <i>Properties</i> ).....	24
2.3.5. Properti Material Batu Bata.....	26
2.4. Definisi dan Karakteristik <i>Software Ecotect</i> .....	27
2.5. Pertimbangan Ekonomi.....	29
2.6. Penelitian Terdahulu.....	30
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b> .....	33
3.1. Kerangka Pemikiran.....	33

3.2. Metode Penelitian.....	35
3.2.1 Data dan Alat.....	35
3.2.2 Waktu Observasi.....	36
3.2.3 Lokasi Observasi.....	37
3.2.4 Cara Pengambilan Data.....	38
3.2.5 Analisis Data.....	39
3.3 Deskripsi Lokasi.....	39
3.4 Pengumpulan Data.....	41
3.4.1. Observasi Simulasi <i>Ecotect</i> .....	41
3.4.2. Observasi Laboratorium.....	43
3.4.3. Observasi Lapangan.....	43
3.5 Tabulasi Data.....	44
3.5.1. Simulasi Insolasi.....	44
3.5.2. Pengukuran Suhu dan Kecepatan Angin.....	45
3.5.3. Absorpsivitas.....	47
3.5.4. Konduktan Permukaan Luar.....	47
3.5.5. Pertimbangan Ekonomi.....	48
<b>BAB IV. ANALISA</b> .....	<b>52</b>
4.1. Selisih Perbedaan To Eksisting Dengan To Papan Semen Partikel.....	52
4.2. Selisih Perbedaan <i>T-Solair</i> Eksisting Dengan <i>T-Solair</i> Papan Semen Partikel.....	54
4.3. Perbandingan Efektivitas Reduksi Suhu Antara Posisi Material Papan Semen Partikel Sebagai Dinding Dengan Posisi Sebagai Atap.....	55
4.4. Aplikasi Arsitektural.....	63
4.4.1. Panel Menempel Datar Pada Dinding.....	63
4.4.2. Panel Membentuk Pola Sirip Terhadap Dinding.....	67
4.4.3. Aplikasi Papan Semen Partikel Pada Ruang Komersial....	68
4.5. Perbandingan Efektivitas Reduksi Suhu Material Papan Semen Partikel Sebagai Dinding Di Sisi Barat Dan Timur.....	70
4.6. Pemasangan.....	71
4.7. Petimbangan Ekonomi.....	72
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>73</b>
5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran.....	75
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>76</b>
<b>Lampiran 1 Uji Konduktivitas Termal.....</b>	<b>78</b>
<b>Lampiran 2 Hasil Tes Uji Konduktivitas Termal Papan Semen Partikel Kayu Sengon.....</b>	<b>79</b>
<b>Lampiran 3 Nilai Absorpsivitas Dan Konduktivitas Bahan .....</b>	<b>80</b>
<b>Lampiran 4 Hasil Perhitungan <i>T-solair</i>.....</b>	<b>81</b>
<b>Lampiran 5 Analisis <i>Altitude</i>.....</b>	<b>82</b>
<b>Lampiran 6 Hasil Simulasi Dinding Barat Dan Dinding Timur Koridor.....</b>	<b>89</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar. 2.1. <i>Psychrometric</i> .....	14
Gambar. 2.2. Proses terjadinya radiasi matahari yang membentuk <i>Radiation Budget</i> dan <i>Radiation Balance</i> .....	18
Gambar. 2.3. Distribusi radiasi yang jatuh ke suatu permukaan.....	19
Gambar. 2.4. Gambar aplikasi papan semen partikel sebagai bentuk rumah.....	22
Gambar. 2.5. Tampilan rekayasa desain luaran dari <i>ecotect</i> .....	27
Gambar. 2.6. Contoh simulasi <i>ecotect</i> (a. <i>Daylighting</i> , b. <i>Solar Radiation</i> , c. <i>Thermal Comfort</i> ).....	29
Gambar. 3.1. Bagan alur penelitian.....	34
Gambar. 3.2. Potongan lokasi pengamatan penyinaran matahari dan kedudukan papan semen partikel pada koridor.....	37
Gambar. 3.3. Lokasi pengamatan.....	40
Gambar. 3.4. Posisi matahari pada tanggal pengamatan.....	42
Gambar. 3.5. Potongan koridor pada kedua jenis material pengamatan.....	43
Gambar. 3.6. Papan semen partikel.....	44
Gambar. 3.7. Diagram <i>solar exposure</i> .....	44
Gambar. 3.8. Hasil pengukuran suhu TO untuk dinding eksisting dan papan semen partikel.....	47
Gambar. 4.1. Diagram hubungan antara pengukuran suhu dengan zona kenyamanan termal.....	52
Gambar. 4.2. Simulasi perbandingan suhu luar berdasarkan posisi panel semen partikel.....	62
Gambar. 4.3. Aplikasi arsitektural dengan desain pengaturan komposisi panel yang rapat guna pencapaian maksimum.....	63
Gambar. 4.4. Aplikasi arsitektural dengan desain pengaturan komposisi jarak antar panel.....	64
Gambar. 4.5. Aplikasi arsitektural dengan desain pengaturan komposisi transisi.....	65
Gambar. 4.6. Detail aplikasi arsitektural lapis per-lapis dinding batu bata dengan papan semen partikel (a, b, c).....	66
Gambar. 4.7. Dinding sirip dengan pasangan papan semen partikel.....	67
Gambar. 4.8. Alternatif aplikasi arsitektural beberapa tempat yang dapat dipasang papan semen partikel model sirip (a, b, c, d, e, f).....	67
Gambar. 4.9. Aplikasi arsitektural papan semen partikel pada ruang tempat usaha komersial.....	68
Gambar. 4.10. Pemasangan dan penguatan posisi panel pada dinding.....	69
	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Program mitigasi yang sudah tersedia di beberapa negara.....	3
Tabel 2.1.	Tabel faktor konduktan.....	24
Tabel 2.2.	Tabel perbandingan dampak pemakaian jenis batu bata.....	26
Tabel 2.3.	Perbandingan indeks kinerja panel komposit.....	30
Tabel 3.1.	Tabel alat ukur.....	36
Tabel 3.2.	Tabulasi data penyinaran matahari.....	38
Tabel 3.3.	Tabel <i>solar exposure</i> .....	45
Tabel 3.4.	Hasil pengukuran tiap titik sampling.....	46
Tabel 3.5.	Tabel perbandingan suhu luar kedua jenis material.....	46
Tabel 3.6.	Tabel perbandingan $f_0$ kedua jenis material.....	48
Tabel 3.7.	Tabel hasil perhitungan pekerjaan dinding batu bata.....	49
Tabel 3.8.	Tabel hasil perhitungan pekerjaan plester dan acian.....	49
Tabel 3.9.	Tabel hasil perhitungan pekerjaan pengecatan.....	50
Tabel 3.10.	Tabel perhitungan pekerjaan papan semen partikel (mengacu pada analisis pekerjaan <i>cladding</i> ).....	50
Tabel 3.11.	Hasil perhitungan indeks kinerja material dinding batu bata dan papan semen partikel.....	51
Tabel 4.1.	Tabel perbandingan <i>T-solair</i> kedua jenis material.....	54
Tabel 4.2.	Tabel hasil perhitungan rerata simulasi perbandingan papan semen partikel untuk dinding dan atap.....	55
Tabel 4.3.	Tabel hasil perhitungan rerata simulasi perbandingan koridor membujur Utara-Selatan.....	70
Tabel 4.4.	Tabel hasil perhitungan indeks material dinding.....	72
Tabel 5.1.	Perhitungan <i>embodied energy</i> yang dihasilkan masing-masing material.....	74

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

#### 1.1.1. Pengembangan Solusi Urban Climate.

Studi mengenai konservasi energi dan *thermal comfort* telah banyak dilakukan dan memiliki titik berat pada aspek interior bangunan. Melalui komparasi indikasi jumlah software di level bangunan (*Home Energy Efficient Design (HEED)*, *Opaque*, *Solar Tool*, *Fluent*, *Ecotect*, *Integrated Environmental Solution (IES)*) dengan lingkungan luar-bangunan (*Environmental Visualization Interface-Meteorologi*) maka terdapat perbandingan 6:1 (enam untuk level bangunan berbanding satu untuk lingkungan luar bangunan). Hal ini menunjukkan bahwa penelitian iklim lingkungan masih sangat sedikit sekali dilakukan.

Penelitian iklim lingkungan-luar bangunan sering disebut pula sebagai penelitian *urban climate*. Dua tokoh utama dalam bidang ini ialah T.R. Oke<sup>1</sup> dan Baruch Givoni<sup>2</sup>. Dalam kaitan dengan regulasi suhu udara luar (*Temperature Outdoor* atau TO) maka kajian kedua tokoh tersebut didominasi oleh pengukuran dan prediksi suhu sebagai efek dari kondisi geografis dan karakteristik urban. Solusi terkait lingkungan binaan biasanya berupa rekayasa *view factor* pada koridor namun belum mengajukan rekayasa material bangunan sebagai salah satu solusi regulasi suhu udara luar (TO). Penelitian ini, secara teoretik berupaya mengembangkan khasanah solusi di area *urban climate*.

#### 1.1.2. *Climate Change*: Reduksi Suhu Udara Luar (TO) sebagai Unsur Mitigasi

*United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* mendefinisikan '*climate change*' sebagai perubahan iklim yang secara langsung atau tak langsung diakibatkan aktifitas manusia. Hal ini mengubah komposisi atmosfer-global, menjadi unsur tambahan pada variabilitas iklim-alamiah

---

<sup>1</sup> T.R. Oke, 1987, *Boundary Layer Climate*, London: Routledge, hal. 274.

<sup>2</sup> Baruch Givoni, 1998, *Climate Considerations in Building and Urban Design*, New York: Van Ostrand Reinhold.

sebagaimana terobservasi sepanjang periode-waktu komparatif tertentu.<sup>3</sup> Perubahan iklim merupakan perubahan unsur-unsur iklim dalam jangka waktu panjang (50 sampai 100 tahun) yang dipengaruhi oleh kegiatan manusia yang menghasilkan emisi gas rumah kaca.<sup>4</sup> Salah satu unsur iklim yang berfungsi sebagai pengendali cuaca ialah suhu udara yang ditengarai terjadi peningkatan suhu udara global (*global warming*).

*Global warming* merupakan fenomena peningkatan konsentrasi *Green House Gases (GHGs)*,<sup>5</sup> kemudian menjebak energi matahari di dalam atmosfer, selanjutnya meningkatkan suhu Bumi.<sup>6</sup> Suhu permukaan rerata global telah meningkat 0,6 °C sejak akhir 1950-an. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* memproyeksikan bahwa terjadi peningkatan suhu sebesar 1,4-5,8 °C dalam abad ini. Pada dua abad berikutnya, pemanasan sebesar 0,2 °C diproyeksikan sebagai nilai atas skenario emisi yang dinilai oleh *IPCC*. Walaupun konsentrasi *Green House Gases (GHGs)* dan aerosol dapat dikelola secara konstan pada level tahun 2000, namun pemanasan sebesar 0,1 °C diperkirakan akan terjadi.<sup>7</sup>

Guna mengatasi hal tersebut maka terdapat dua cara untuk mereduksi emisi *GHGs* yakni melalui (1) program mitigasi (*climate change management*) yang meliputi *energy efficiency*, serta (2) program adaptasi, yakni mengurangi dampak dan bencana yang diakibatkan *climate change*.<sup>8</sup> Sejumlah kunci mitigasi pada sektor energi (*solar and wind power*) serta sektor bangunan (*passive and active solar design for heating and cooling*) berada pada pengendalian suhu udara luar (TO). Reduksi terhadap TO akan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil

<sup>3</sup> Anonim, June 2008, "*Climate Resilient Cities: A Primer on Reducing Vulnerabilities to Climate Change Impacts and Strengthening Disaster Risk Management in East Asian Cities*," Washington: World Bank, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, International Strategy for Disaster Reduction, hal. 141.

<sup>4</sup> Subandono Diposaptono, Budiman, Firdaus Agung, 2009, "*Menyiasati Perubahan Iklim di Wilayah Pesisir dan pulau-pulau Kecil*," Bogor: Penerbit Buku Ilmiah Populer, hal. 2.

<sup>5</sup> Jenis *GHGs* yang dikontrol oleh Kyoto Protocol : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>.

<sup>6</sup> Agus P. Sari (ed), et.al, 2007, "*Indonesia and Climate Change: Current Status and Policies*," Indonesia: World Bank, Department for International development – Indonesia, PEACE (Pelangi Energi Abadi Citra Enviro), hal. 38.

<sup>7</sup> *Ibid.*

<sup>8</sup> Anonim, June 2008, *Op. cit.*, hal. xvii

(terimplementasi melalui reduksi penggunaan listrik AC) serta memperbesar peluang ventilasi alami.

Tabel 1.1. Program mitigasi yang sudah tersedia di beberapa negara

No.	Sektor	Teknologi dan praktek mitigasi yang sudah tersedia	Kebijakan, penilaian dan perangkat yang efektif secara lingkungan	Halangan (-) dan peluang (+)
1	Suplai energi (misal, Singapura, Albuquerque, King County/Seattle)	Suplai dan distribusi yang efisien; penggantian bahan bakar dari batu bara ke gas; tenaga nuklir; panas dan sumber energi listrik terbarukan (tenaga air; matahari; angin; panas bumi; dan bio-energy); kombinasi panas dan sumber energy listrik; pengikatan dan penyimpanan CO2 lebih dini (misal, penyimpanan buangan CO2 dari gas alam)	Reduksi subsidi bahan bakar fosil; penetapan pajak atau biaya kompensasi karbon dalam penggunaan bahan bakar fosil	(-) Resistensi oleh <i>vested interests</i> mengakibatkan kesulitan dalam implementasinya
			Keringanan tarif untuk teknologi energi terbarukan; obligasi untuk teknologi energi terbarukan; subsidi bagi produsen.	(+) Kemungkinan lebih tetap menciptakan pasar bagi teknologi beremisi rendah
2	Bangunan (misal, Singapura, Albuquerque, King County/Seattle)	Pencahaya-an artifisial dan alami yang efisien; peralatan HVAC dan elektronik yang lebih efisien; peralatan masak hemat energy; peningkatan kualitas insulasi; desain pasif dan aktif bagi pemanasan maupun pendinginan; cairan refrigran alternatif; gas fluor yang didaurulang.	Standar peralatan dan pelabelan	(+) Diperlukan revisi periodik terhadap standar
			Peraturan dan sertifikasi bangunan	(-) Lebih menarik bagi bangunan baru (-) Penerapannya dapat menemui kesulitan
			Program manajemen terkait deman	(+) Membutuhkan peraturan sehingga dapat menghasilkan keuntungan
			Program kepemimpinan sektor publik	(+) Pembelanjaan pemerintah dapat diperluas pada kebutuhan akan produk-produk hemat energi
			Insentif bagi perusahaan pelayanan energi	(+) Faktor keberhasilan : Akses kepada pembiayaan pihak swasta

(Sumber: Agus P. Sari (ed), *et al*, 2007, hal. 18)

### 1.1.3. Potensi Material Organik Sebagai Regulator Radiation Budget

Dinding batu bata berlapis spesi merupakan permukaan dinding vertikal yang sudah umum dipakai oleh kebanyakan masyarakat Indonesia, khususnya area Malioboro, karena harganya yang relatif murah dan mudah didapat.

**Universitas Indonesia**

Meskipun demikian, batu bata memiliki nilai absorptivitas tinggi (0,89), konduktivitas yang juga tinggi (1,210 W/m°C), nilai embodied energy menengah (1,2). Oleh karena itu diperlukan solusi dari material lainnya yang memiliki selisih absorptivitas dan konduktivitas memadai dibanding batu bata, agar reduksi suhu luar dapat dicapai secara signifikan.

Material pembanding tersebut harus memiliki properti termal yang berbeda (memiliki densitas yang lebih rendah ketimbang batu bata), memenuhi syarat ekonomis, memenuhi nilai ekologi (*embodied energy* yang lebih rendah), mudah diproduksi, dan mampu diaplikasikan sebagai bahan bangunan. Belum adanya pengukuran yang akurat terhadap dampak pemakaian dinding batu bata terhadap suhu lingkungan sekitar, akan menegaskan arti pentingnya pemilihan bahan bangunan. Hal ini terutama bagi proses perancangan lingkungan buatan, yang dikaitkan dengan perubahan iklim bumi yang semakin panas.

Sebagai material pembanding, akan diukur temperatur permukaan dinding vertikal dari bahan yang berbasis pada *green material*, yakni dinding panel komposit papan semen partikel. Panel komposit papan semen partikel untuk dinding eksterior ini merupakan produk dari Pusat Penelitian Permukiman Bandung. Dinding ini terbuat dari campuran semen dengan limbah kayu sengon. Hal ini diproyeksikan agar limbah organik dapat di daur ulang menjadi bahan material yang bermanfaat. Dasar dari pemilihan bahan yang dapat digolongkan dalam kriteria *green material* ini adalah untuk menguji kualitas termal konduktannya, sehingga bermanfaat juga dalam kenyamanan termal.

#### 1.1.4. Penetapan Lokasi Penelitian

Koridor jalan Sosrowijayan di daerah Pasar Kembang sekitar kawasan Malioboro Yogyakarta memenuhi kualifikasi perkotaan yang memiliki karakter kawasan dengan campuran berbagai elemen perkotaan, yakni perdagangan, permukiman, elemen tradisional, objek wisata, transit, dan jalur transportasi.<sup>9</sup> Keanekaragaman fungsi kawasan ini menciptakan ruang-ruang transisi yang khas

---

<sup>9</sup> Anonim, 1997, "*Laporan Akhir Penyusunan Rencana Pembangunan Prasarana dan Sarana Kawasan Malioboro.*" Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Bina Tata Perkotaan dan Perdesaan.

antara area non-permukiman dengan area permukiman, yakni tipologi koridor dengan dinding pagar batu bata sebagai batas properti suatu bangunan di satu sisi dan area permukiman di sisi lainnya. Koridor sendiri merupakan istilah teknis, dalam penelitian urban climate, yang mendefinisikan area operasional aliran-udara yang berupa jalan (*street*) di antara bangunan.<sup>10</sup>

Kawasan Malioboro juga memenuhi kualifikasi ini karena komposisi material-bangunan di kawasan Malioboro didominasi oleh material yang memiliki aliran panas yang tinggi, yakni 83% beton ( $\alpha = 0,61-0,86$ ), 10% campuran beton-kayu ( $\alpha = 0,78-0,86$ ), 7% kayu ( $\alpha = 0,78$ ), 92% permanen, 8% non-permanen (Anonim, 1997).

Berdasarkan hal tersebut, relevansi alternatif material selain batu bata perlu dipertimbangkan, baik dari segi manfaat reduksi suhu lingkungan maupun nilai ekonomisnya.

## 1.2. Permasalahan Penelitian

Pesatnya pembangunan di perkotaan menyebabkan adanya pergeseran iklim mikro pada skala lingkungan. Hal ini terjadi karena kawasan perkotaan yang semakin didominasi oleh perkerasan (*impermeable pavement*), membuat akumulasi panas yang terjadi akan lebih panas jika dibandingkan dengan iklim di pinggiran kota. Rentang perbedaan suhu di perkotaan dibandingkan dengan di pinggiran kota yang masih banyak penghijauan dapat mencapai 5 °C.<sup>11</sup>

Kota Yogyakarta merupakan salah satu kota besar di Indonesia yang pesat perkembangannya. Sektor pembangunan perumahan perkembangannya menjadi kurang terkendali, sehingga fenomena perumahan padat penduduk menjadi hal yang tidak terhindarkan. Pada kawasan perumahan padat penduduk banyak terdapat ruang-ruang komunal yang sempit dan didominasi oleh perkerasan. Ruang komunal yang dimaksud antara lain ruang-ruang antar bangunan perumahan yang saling membelakangi, dan dijadikan sebagai koridor jalan. Ruang tipikal koridor ini banyak ditemui pada kawasan padat penduduk, yang

<sup>10</sup> T.R. Oke. 1987. "Boundary Layer Climate," London: Routledge, hal. 274.

<sup>11</sup> Szokolay. S.V, 1974. "Manual Tropical Housing and Building," London: Longman Group Limited.

mempunyai kecenderungan panas pada pukul 14.00 WIB. Hal ini terjadi karena dinding bata-plester yang lazim digunakan pada kawasan perumahan, memantulkan banyak radiasi matahari, sehingga akumulasi panas menjadi besar.

Riset yang dilakukan oleh Al Hemiddi pada 1991<sup>12</sup>, ketinggian pengukuran 1 meter, selama 70 hari, area pengukuran pada lokasi-lokasi yang memiliki perbedaan bahan-permukaan, berlokasi di Kampus *UCLA, USA*, bertujuan untuk mengetahui efek bahan-permukaan terhadap suhu ambien; ditemukan bahwa: (1). pada hari cerah, khususnya musim panas, perbedaan hingga 3°C, sering terjadi pada lokasi perkerasan-ekspos dengan ruang terlindungi semak, (2). pada periode terpanas, suhu lahan parkir mencapai 50 °C, suhu di area rerumputan mencapai 29 °C, sedangkan jalur-pedestrian berpeneduh mencapai 23 °C.

Sementara riset di Yogyakarta yang dilakukan oleh Winaktoe. W, pada 2005<sup>13</sup> reduksi lebar-koridor (total) sebesar 2,4 meter – 3,3 meter diperkirakan dapat mereduksi temperatur maksimum (36,7 °C) menuju 30 °C atau 28 °C, dengan demikian rancangan lebar-koridor berdimensi 6,7 meter - 7,6 meter direkomendasikan sebagai upaya pencapaian kriteria iklim-mikro. Kreasi bidang vertikal-massif sulit dilakukan karena faktor biaya, oleh karena itu secara teknis perubahan lebar-koridor dapat dilakukan melalui perubahan material perkerasan (aspal selebar 10 m) menuju komposisi aspal (selebar 6,7 meter – 7,6 meter) dengan non-aspal (misal *grassblock*, selebar 1,2 meter – 1,6 meter di tiap-tiap sisi). Akan tetapi pada kawasan koridor Sosrowijayan tidak memungkinkan untuk dilakukannya pelebaran koridor. Situasi koridor sudah ditutup oleh dinding bangunan dan jalan sudah dipenuhi oleh perkerasan. Sedangkan tindakan penghijauanpun sudah tidak memungkinkan lagi, karena situasi jalan koridor yang sempit.

Melihat kondisi tersebut, penulis merasa perlu untuk melakukan penelitian dengan cara perbaikan kualitas temperatur udara pada tipikal koridor lingkungan seperti ini. Salah satu upaya yang diajukan yaitu dengan menambahkan papan semen partikel yang merupakan panel komposit dari bahan organik limbah kayu

---

<sup>12</sup> *Ibid*

<sup>13</sup> *Ibid*

sengon (yang lebih mampu menyerap panas<sup>14</sup>) pada dinding yang memagari koridor. Melalui usulan ini, saya mengharapkan akumulasi temperatur udara yang terjadi pada koridor lingkungan tersebut menjadi lebih kecil. Dengan demikian hal tersebut dapat menciptakan kondisi yang lebih nyaman untuk aktifitas manusia serta memperbesar peluang aplikasi *passive cooling* dan *natural ventilation* pada bangunan.

### 1.3. Pertanyaan Penelitian

Beberapa pertanyaan yang terkait dalam penelitian ini adalah:

- (a) Berapa selisih rata-rata suhu sekitar (TO) antara permukaan vertikal dari batu bata dengan permukaan vertikal panel komposit ?
- (b) Berapa selisih suhu permukaan (*sol-air*) antara permukaan vertikal dari batu bata dengan permukaan vertikal panel komposit?
- (c) Mengapa perbedaan TO antara permukaan vertikal dari batu bata dengan permukaan vertikal panel komposit tersebut terjadi?
- (d) Bagaimana aplikasi arsitektural dari panel komposit pada koridor lingkungan?
- (e) Bagaimana analisis harga untuk pemakaian panel komposit?

### 1.4. Tujuan Penelitian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana keefektifan kedua material ini berkaitan dengan kenyamanan termal lingkungan sekitar, dengan rincian sebagai berikut:

- (1) Untuk mengetahui selisih rata-rata suhu sekitar (TO) antara permukaan vertikal dari batu bata dengan permukaan vertikal panel komposit.
- (2) Untuk mengetahui selisih suhu permukaan (*sol-air*) antara permukaan vertikal dari batu bata dengan permukaan vertikal panel komposit.
- (3) Untuk mengetahui penyebab terjadinya selisih suhu permukaan (*sol-air*) antara permukaan vertikal dari batu bata dengan permukaan vertikal panel komposit.
- (4) Untuk mengelaborasi penerapan panel komposit secara arsitektural.

---

<sup>14</sup> *Ibid.*

- (5) Untuk mengetahui analisis harga panel komposit bila diterapkan pada koridor lingkungan.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat:

- (1) Penelitian ini akan memberikan informasi penting bagi penggunaan material yang sesuai bagi kondisi lingkungan sekitar, dalam upaya mencapai regulasi iklim mikro lingkungan.
- (2) Kontribusi terhadap penurunan suhu lingkungan agar kenyamanan termal dan *passive cooling* bangunan dapat tercapai.
- (3) Informasi bagi para pengambil kebijakan dalam membuat strategi pembangunan yang berkelanjutan, khususnya mitigasi terhadap *climate change*.

### 1.6. Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian ini berfokus pada :

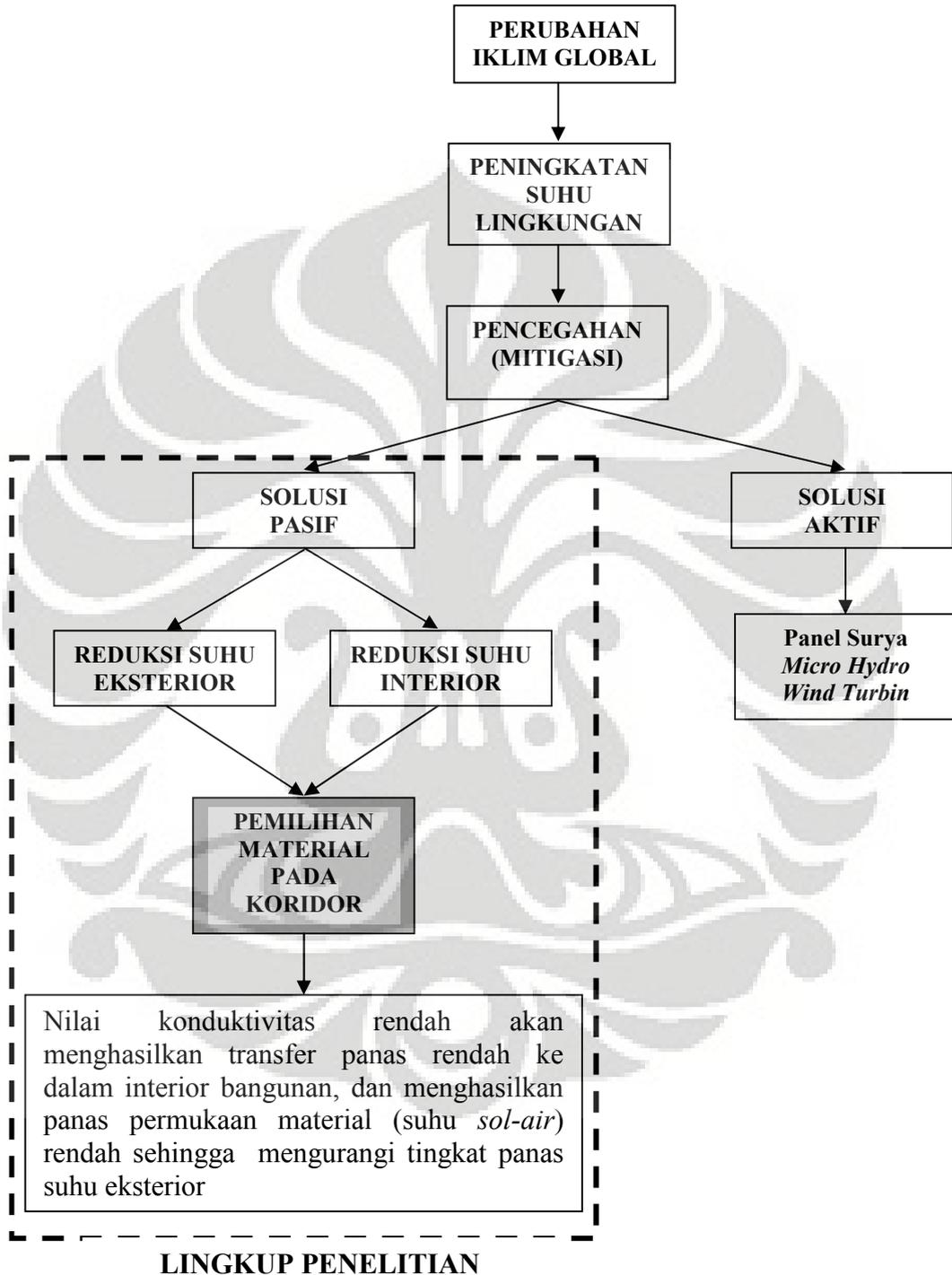
- (1) Pengukuran suhu luar pada dinding eksisting dan dinding panel komposit.
- (2) Pencarian variabel yang mempengaruhi suhu *sol-air*, yakni suhu luar, insolation, absorpsivitas, konduktan.
- (3) Perhitungan *T-solair* kedua material yang diteliti.
- (4) Aplikasi arsitektural
- (5) Analisis harga pemasangan panel komposit bila diterapkan pada koridor lingkungan.

## 1.7. Susunan Penulisan

- Bab 1 Pendahuluan : Menguraikan latar belakang, permasalahan, penetapan lokasi, pertanyaan penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, lingkup penelitian, susunan penulisan dan alur penelitian.
- Bab 2 Tinjauan teori : Membahas mengenai teori-teori yang menjelaskan mengenai iklim, radiasi, perpindahan panas dan solair.
- Bab 3 Metode penelitian : Menjelaskan mengenai prosedur penelitian, teknik pengumpulan data, waktu dan lokasi penelitian, tabulasi data.
- Bab 4 Analisa : Menganalisa hasil observasi mengenai selisih perbedaan suhu luar dan suhu solair dari kedua dinding yang diteliti.
- Bab 5 Kesimpulan dan Saran : Menyimpulkan dari temuan penelitian dan memberikan saran atas dasar temuan tersebut.

### 1.8. Alur Pemikiran

Dari uraian pada sub Bab terdahulu, diperoleh alur pemikiran sebagai berikut:



## BAB II

### TINJAUAN KEPUSTAKAAN

Tinjauan kepustakaan terdiri dari pembahasan tentang iklim yaitu iklim tropis lembab dan iklim perkotaan. Selain itu juga membahas tentang *thermal comfort*, perpindahan panas (*heat transfer*), radiasi matahari, interaksi panas, *sol-air temperature (T-solair)*, properti material dan diakhiri dengan penelitian terdahulu.

#### 2.1. Iklim Tropis Lembab

Indonesia termasuk dalam kategori kawasan tropis lembab yakni di antara garis Lintang Utara 15° dan garis Lintang Selatan 15°. Ciri iklim tropis lembab adalah kelembaban udara yang relatif tinggi (seringkali di atas 90%), temperatur rata-rata tahunan di atas 18 °C (biasanya 23 °C) yang dapat meningkat hingga 38°C pada bulan terpanas,<sup>15</sup> dengan radiasi lebih dari 900 W/m<sup>2</sup> (<sup>16</sup>), namun kecepatan angin yang tak stabil (pada perkotaan sering 0 m/dtk atau terlalu besar, > 30 m/dtk)<sup>17</sup>.

Keterangan yang lebih spesifik mengenai iklim tropis lembab dapat dinyatakan sebagai berikut:<sup>18</sup>

- a. Temperatur udara:
  - Maksimum rata-rata adalah antara 27°C - 32°C
  - Minimum rata-rata adalah antara 20°C - 23°C
- b. Kelembaban udara rata-rata adalah 75% - 80%.
- c. Curah hujan selama setahun antara 1000 mm - 5000 mm
- d. Kondisi langit pada umumnya berawan dengan jumlah awan antara 60% - 90%

---

<sup>15</sup> George Lippsmeier, 1994, "*Bangunan Tropis*," Jakarta: Erlangga, hal. 8-9.

<sup>16</sup> Prasasto SATWIKO, 2004, "*Fisika Bangunan 1*," Yogyakarta: Penerbit Andi, hal.2.

<sup>17</sup> Prasasto SATWIKO, Soesilo Budi LEKSONO., O.Th. KRISTANTORO, 2000/2001, Proposal "*Collaborative Research Grant Program: Pengembangan Sistem Ventilasi Atap Tenaga Angin dan Surya (SIVATAS)*," Yogyakarta: Universitas Atmajaya.

<sup>18</sup> Soegijanto, tesis tahun 2000, "*Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab ditinjau dari aspek fisika bangunan*," hal. 8-9.

- e. Luminansi langit untuk langit yang seluruhnya tertutup awan tipis cukup tinggi, ialah dapat mencapai lebih dari 7000 kandela/m<sup>2</sup>, sedangkan yang seluruhnya tertutup awan tebal sekitar 850 kandela/m<sup>2</sup>.
- f. Kecepatan angin rata-rata adalah rendah sekitar 2-4 m/detik.

## 2.2. Iklim Perkotaan

Lingkungan buatan manusia dapat menciptakan iklim mikro bagi lingkungan tersebut. Penyimpangan dari iklim mikro yang terjadi tergantung dari perkembangan campur tangan manusia di dalamnya, seperti intervensi terhadap lingkungan alami pada suatu perkotaan, hal ini dapat dikatakan sebagai iklim perkotaan.

Faktor-faktor yang dapat menyebabkan terjadinya penyimpangan dari iklim perkotaan dari iklim makro suatu kawasan adalah :

- a. Perubahan kualitas permukaan (bangunan dan *pavement*): meningkatkan penyerapan radiasi matahari, mengurangi penguapan.
- b. Bangunan: membentuk bayangan dan berperan sebagai pelindung angin, serta sebagai kanal angin yang dapat meningkatkan kecepatannya. Hal ini juga sebagai penyimpan panas untuk kemudian dilepas pada malam hari.
- c. Rembesan energi: melalui dinding dan ventilasi dari bangunan yang dipanaskan, hasil dari pendinginan tanaman dan alat pendingin ruangan atau *Air Condition* (yang mengangkut panas dari ruang yang di kontrol menuju udara luar). Panas yang dihasilkan dari pembakaran dalam mesin dan peralatan listrik rumah tangga, panas dari industri, khususnya dari pembakaran sampah dan pabrik besar.
- d. Polusi atmosfer: hasil buangan dari *boiler* atau pemanas domestik, cerobong pabrik, *exhaust* dari kendaraan bermotor, uap dan asap. Semuanya berperan dalam mengurangi radiasi langsung sinar matahari, tetapi meningkatkan penyebarannya, dan menyediakan penghalang bagi radiasi yang akan keluar atmosfer.

Suhu udara di perkotaan dapat lebih tinggi 8 °C dari lingkungan sekitar pinggiran kota, bahkan telah tercatat mencapai 11 °C. Kelembaban relatif

berkurang antara 5% hingga 10% karena proses *run-off* air hujan yang cepat dari area perkerasan, hal ini juga dipicu oleh kurangnya vegetasi dan meningkatnya suhu.

Kecepatan angin dapat berkurang hampir separuh dari kecepatan angin di lingkungan sekitar kota yang relatif terbuka. Namun, efek corong yang dihasilkan dari jalan yang diapit oleh bangunan dan dinding yang tinggi, dapat membuat kecepatan angin menjadi dua kali lebih besar. Turbulensi dan pergolakan angin yang kuat dapat terjadi pada area sudut yang menghalang dan bayang-bayang angin.

### 2.2.1. Kenyamanan Termal (*Thermal Comfort*)

Temperatur yang cukup tinggi (24 °C - 32 °C) disertai kelembaban yang tinggi (50% - 94%)<sup>19</sup> merupakan kendala bagi kenyamanan manusia di daerah katulistiwa yang beriklim tropis lembab, seperti di Indonesia<sup>20</sup>. Padahal, batas kenyamanan untuk kondisi katulistiwa sebesar 23 °C – 29 °C dengan kelembaban relatif 30% - 70%<sup>21</sup>. Ciri iklim seperti ini terjadi karena katulistiwa merupakan daerah yang paling banyak menerima radiasi matahari, akibat posisi matahari yang dominan tegak lurus terhadap bumi<sup>22</sup>. Kondisi di luar batas kenyamanan ini dapat mencapai 68% dari keseluruhan suhu tahunan. Periode kelebihan panas (*overheated period*) terjadi pada waktu siang hari, setelah pukul 09.00 WIB dengan nilai global *irradiance* sebesar 800 Wh/m<sup>2</sup>, mencapai nilai maksimum pada jam 13.00 WIB sebesar 1300 Wh/m<sup>2</sup> dan turun kembali ke angka semula pada jam 15.00 WIB.<sup>23</sup>

Kenyamanan juga dibatasi oleh faktor kecepatan angin. Kecepatan angin di bawah 0,15 m/s, walaupun kondisi yang lainnya memuaskan, kebanyakan orang merasakan 'kekakuan'. Kecepatan angin di atas 1,5 m/s, dapat

<sup>19</sup> Mas Santosa, 18 November 2000, "*Arsitektur Surya, sebuah fenomena spesifik untuk daerah tropis lembab,*" dalam Seminar Nasional Arsitektur Surya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Arsitektur Universitas Kristen Petra, Surabaya.

<sup>20</sup> Prasasto Satwiko, , 2004 "*Fisika Bangunan 2,*" Yogyakarta: Penerbit ANDI, hal. 2.

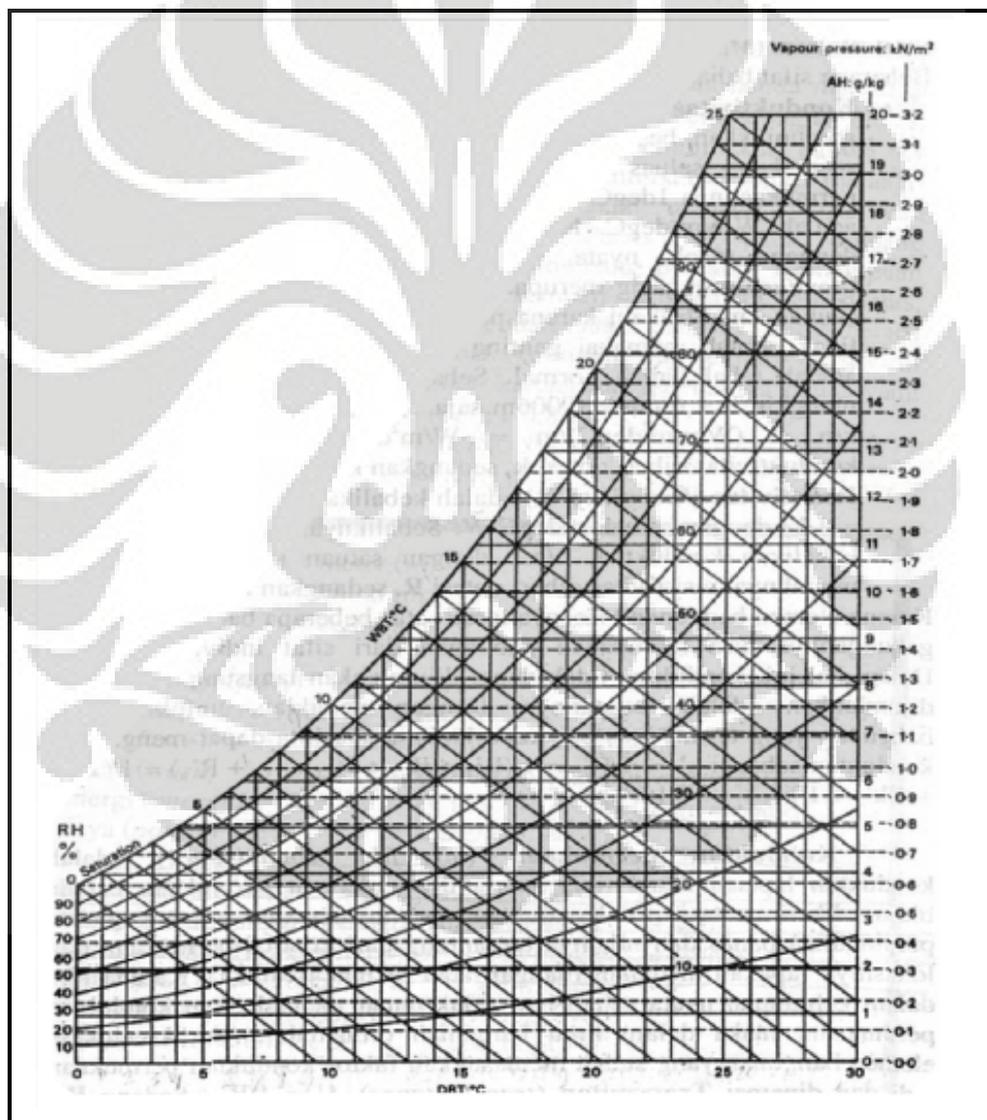
<sup>21</sup> Victor Olgyay, , 1962, "*Design With Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*", Princeton: Princeton University Press, hal. 17.

<sup>22</sup> George Lippsmeier, 1994 "*Bangunan Tropis,*" Jakarta: Erlangga, hal 1 dan 19.

<sup>23</sup> Mas Santosa, 18 November 2000, "*Arsitektur Surya, sebuah fenomena spesifik untuk daerah tropis lembab,*" dalam Seminar Nasional Arsitektur Surya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Arsitektur Universitas Kristen Petra, Surabaya.

menimbulkan efek samping yang cukup mengganggu, seperti kertas dan debu yang berterbangan. Batasan ini tidak kaku, dalam kondisi panas dan lembab orang-orang tidak menganggap ini mengganggu. Maka kecepatan angin 1,5 m/s dapat dijadikan patokan rata-rata yang dapat diterima oleh kenyamanan manusia.

Penelitian perdana dilakukan oleh Houghton dan Yahlou yang menghasilkan istilah “temperatur efektif” atau disingkat TE. Sementara TE ditentukan oleh temperatur udara, kelembaban, dan gerakan udara<sup>24</sup>. Diagram TE menunjukkan kegunaan praktisnya dengan bantuan diagram *Psychrometric* seperti terlihat pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1. *Psychrometric*

<sup>24</sup> HOUGHTON and YAHLOU, 1923, “Determining Lines of Equal Comfort, Transactions of America Society of Heating and Ventilating Engineers,” vol. 29.

(Sumber : Prasasto Satwiko, 2004 )

Zona kenyamanan di daerah tropis berkisar antara suhu 23 °C – 29 °C dengan kelembaban antara 30% - 70%<sup>25</sup> atau 19 °C - 26 °C TE (temperatur efektif). Pada temperatur 26 °C TE banyak orang mulai berkeringat. Daya tahan dan kemampuan kerja manusia mulai menurun pada temperatur 26,5 °C - 30 °C TE (atau 29 °C – 33 °C).<sup>26</sup>

Temperatur Efektif (*Effective Temperature/ET\**) adalah keseragaman suhu dari pancaran selubung hitam pada kelembaban udara 50%, dimana seorang penghuni akan mengekspresikan kenyamanan yang sama, ketegangan fisiologis dan perubahan panas seperti di lingkungan yang sebenarnya dengan gerakan udara yang sama. Zona nyaman (*comfort zones*) pada musim panas adalah 22,8 °C < *ET\** < 26,1 °C, sedangkan 20,0 °C < *ET\** < 23,9 °C untuk musim hujan<sup>27</sup>.

### 2.2.2. Perpindahan panas (*Heat transfer*)

Energi panas cenderung terdistribusikan bila medannya telah tersebar merata. Kecenderungannya yaitu mengalir dari zona temperatur yang tinggi menuju temperatur yang lebih rendah. Semakin besar perbedaannya, semakin besar tingkat aliran panasnya. Proses ini melibatkan salah satu atau semua proses dari konveksi, konduksi, dan radiasi, sebagai berikut:

#### a. Konveksi

Pada proses konveksi, panas dihantarkan melalui media yang bergerak, biasanya berupa cairan atau gas. Pergerakan ini mungkin timbul dengan sendirinya, seperti adanya perbedaan suhu dan tekanan udara. Konveksi dapat terjadi secara alami maupun buatan (konveksi paksa).

Tingkat perpindahan panas dalam proses konveksi tergantung tiga faktor, yaitu:

1. Perbedaan temperatur (perbedaan suhu medium pada titik yang lebih hangat dan dingin)
2. Tingkat perpindahan dari medium pembawa dalam satuan kg/s atau m<sup>3</sup>/s
3. Panas spesifik dari medium pembawa dalam satuan J/kg deg C atau J/m<sup>3</sup> deg C.

<sup>25</sup> Victor Olgyay, 1962, "*Design With Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*," Princeton: Princeton University Press, hal 17.

<sup>26</sup> George Lippsmeier, 1994, "*Bangunan Tropis*," Jakarta: Erlangga, hal.37.

<sup>27</sup> (<http://www.personal.cityu.>)

### b. Konduksi

Proses konduksi terjadi ketika panas berpindah melalui benturan langsung antar molekul bersuhu panas dengan molekul bersuhu dingin. Besarnya molekul yang menyebar ditentukan oleh properti dari tiap material, yaitu masing-masing memiliki nilai konduktivitas termal yang unik.

### c. Radiasi

Dalam proses ini, besarnya perpindahan panas tergantung dari suhu permukaan dalam menyerap dan memancarkan panas. Radiasi yang diterima oleh suatu permukaan sebagian kecil diserap, dan sebagian lagi dipantulkan.

Jumlah panas yang mengalir melalui suatu permukaan akan sulit ditentukan secara spesifik jika area yang dilalui oleh panas tersebut tidak diketahui luasannya. Oleh sebab itu satuan jumlah aliran panas ini dinamakan densitas atau intensitas, dan satuan yang digunakan adalah watt per satuan luas ( $\text{W/m}^2$ ).

### 2.2.3. Radiasi Matahari

Bumi kita menerima energi hampir secara keseluruhan berasal dari matahari melalui radiasi, oleh sebab itu matahari berpengaruh dominan terhadap iklim.

Spektrum radiasi sinar matahari berada dalam rentang antara 290 nm hingga 2300 nm (nanometer =  $10^{-9}$  m). Berdasarkan persepsi rata-rata manusia, radiasi dapat kita kategorikan ke dalam:

1. Radiasi Ultraviolet, 290 nm hingga 380 nm, menghasilkan efek fotokimia, *bleaching, sunburn*, dan sebagainya.
2. Cahaya yang terlihat, 380 nm (violet) hingga 700 nm (merah).
3. Radiasi infra merah pendek, 700 nm hingga 2300 nm, radiasi panas dengan beberapa efek fotokimia.

Distribusi energi dari radiasi bervariasi menurut *altitude*, sebab dalam hal ini terdapat efek penyaringan dari atmosfer. Beberapa gelombang pendek diserap

oleh atmosfer dan diradiasikan kembali dalam bentuk gelombang yang lebih panjang, sebagai contoh infra merah panjang memiliki panjang di atas 10000 nm.

Intensitas dari radiasi mencapai permukaan atas dari atmosfer diambil sebagai *solar constant* :  $1395 \text{ W/m}^2$  , tetapi sebenarnya terdapat perbedaan sekitar 2% dikarenakan variasi *output* dari matahari itu sendiri, dan terdapat perbedaan sekitar 3% - 5% akibat dari perubahan jarak matahari dan bumi.

Bumi berputar mengelilingi matahari dalam lintasan orbit yang agak elips. Setiap satu kali revolusi bumi terhadap matahari memerlukan waktu sekitar 365 hari, 5 jam, 48 menit dan 46 detik. Orbit ini dihasilkan dari adanya gaya tarik gravitasi dari matahari dan gaya sentrifugal akibat momen inersia bumi. Jarak terdekat lintasan bumi terhadap matahari adalah 147 juta km, dan terjauh 152 juta km.

Bumi berotasi pada sumbunya sendiri, tiap rotasinya membutuhkan waktu 24 jam. Sumbu rotasi yang menghubungkan kutub Utara dan Selatan bumi terdapat kemiringan  $23,5^\circ$  dari sudut normal, atau  $66,5^\circ$  dari bidang yang dibentuk garis lintasan orbit eliptikal. Sedangkan arah dari sumbu tempat Bumi berotasi ini adalah konstan.

Intensitas maksimum diperoleh dari bidang normal menuju arah dari radiasi. Jika sumbu bumi berada pada posisi tegak lurus dengan bidang orbit, hal ini selalu berada di kawasan equator yaitu pada bidang normal terhadap radiasi. Oleh karena kemiringan posisi sumbu ini, area yang menerima intensitas maksimum bergerak ke arah Utara dan Selatan, antara tropis *Cancer* (*latitude*  $23,5^\circ$  Utara) dan tropis *Capricorn* (*latitude*  $23,5^\circ$  Selatan). Hal inilah yang menjadi penyebab utama terjadinya perubahan musim.

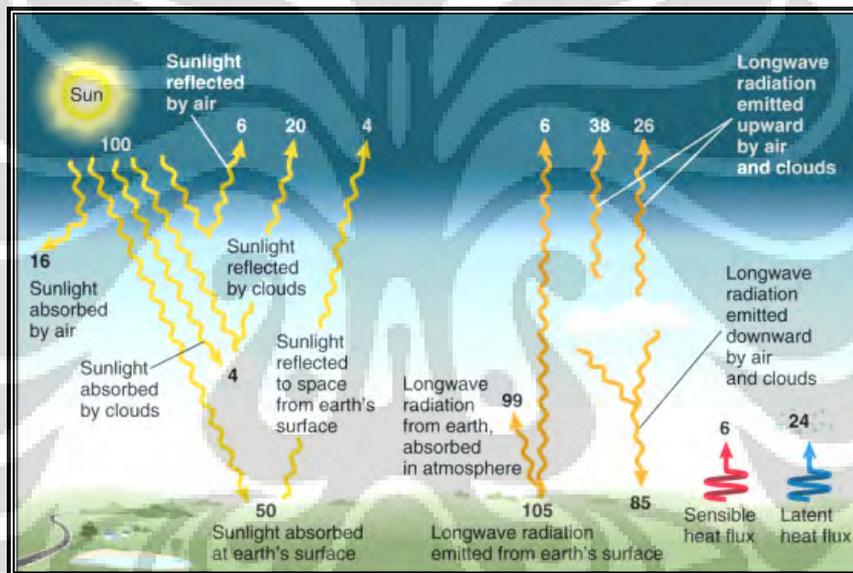
Pada tanggal 21 Juni area sekitar *latitude*  $23,5^\circ$  Lintang Utara berada pada garis normal terhadap sinar matahari. Lintasan matahari terlihat melalui puncak pada *latitude* ini, dan periode siang hari terpanjang akan dialami. Pada waktu yang sama *latitude*  $23,5^\circ$  Lintang Selatan, mengalami siang terpendek dan radiasi minimum.

Pada tanggal 21 Maret dan 23 September area di sepanjang khatulistiwa berada pada posisi normal terhadap sinar matahari. Untuk seluruh kawasan di bumi

berada pada periode *equinox* yaitu mengalami waktu siang dan malam hari yang relatif sama panjang.

#### 2.2.4. Pengertian *Radiation Balance* dan *Radiation Budget*

Radiasi matahari merupakan faktor utama perbedaan iklim, jumlah yang diterima oleh permukaan Bumi tergantung pada energi radiasi matahari, berkurangnya radiasi karena lapisan atmosfer dan juga pemantulan oleh permukaan bumi. Semuanya membentuk apa yang disebut *Radiation Balance* seperti terlihat pada gambar 2.1.<sup>28</sup> Pada gambar yang sama akan terlihat *Radiation Budget*, yakni persentase radiasi yang diserap dan dipantulkan, atau yang dipancarkan balik.



Gambar 2.2. Proses terjadinya radiasi matahari yang membentuk *Radiation Budget* dan *Radiation Balance*

(Sumber: [www.google.com](http://www.google.com), 2010)

#### 2.2.5. Radiasi Matahari Pada Permukaan Bumi (*Insolation*)

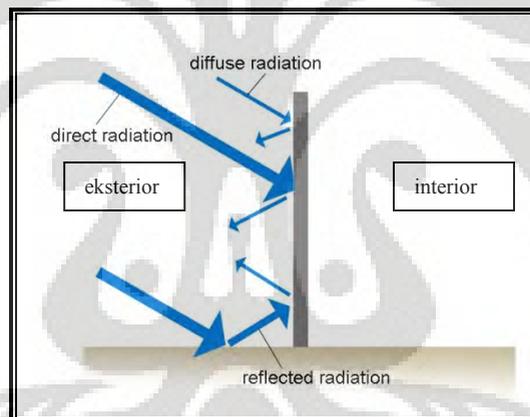
Saat radiasi langsung (*direct radiation*) menyentuh permukaan bumi intensitasnya akan berkurang dari intensitas awal sebelum menyentuh atmosfer bumi. Hal ini dikarenakan hilangnya sejumlah radiasi saat melewati atmosfer bumi. Sebagian radiasi akan dipantulkan balik oleh permukaan awan dan diserap

<sup>28</sup> George Lippsmeier, 1994, "*Bangunan Tropis*," Jakarta: Erlangga, hal 18.

oleh kandungan atmosfer. Sisanya diteruskan oleh berbagai molekul di udara sehingga diperoleh radiasi tak langsung (*diffuse radiation*)<sup>29</sup>.

Saat radiasi matahari jatuh ke permukaan bumi terdapat dua elemen penting yang menerima radiasi, yakni permukaan horizontal dan permukaan vertikal. Permukaan horizontal akan menerima radiasi dua kali lebih besar dibanding permukaan vertikal dan akan dipantulkan kembali sehingga akan berpengaruh secara signifikan terhadap penerimaan panas permukaan vertikal.<sup>30</sup>

Penerimaan panas pada suatu permukaan vertikal akan dipengaruhi oleh radiasi langsung matahari yang mencapai permukaan bumi (*direct radiation*). Radiasi dari pantulan atmosfer ke bumi (*diffuse radiation*), radiasi dari pantulan permukaan horizontal (*reflected radiation*), dan proses penguapan oleh aliran angin di sekitar permukaan tersebut (*convective impact*)<sup>31</sup>.



Gambar 2.3. Distribusi radiasi yang jatuh ke suatu permukaan  
(Sumber: Peneliti, 2009)

Untuk mengurangi tingkat penerimaan panas pada suatu permukaan, dapat ditempuh dengan berbagai cara yakni mempercepat aliran angin pada permukaan tersebut melalui bentuk geometri yang melengkung (seperti kubah), atau dinding yang ditempatkan maju mundur. Cara kedua dilakukan dengan penambahan vegetasi. Cara lainnya, bila kedua cara di atas tidak memungkinkan adalah dengan memakai permukaan yang memiliki nilai *reflectivitas* dan *emissivitas* yang

<sup>29</sup> Victor Olgyay. *Design With Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*, Princeton: Princeton University Press, 1962, hal.32.

<sup>30</sup> Victor Olgyay. *Design With Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*, Princeton: Princeton University Press, 1962, hal 33.

<sup>31</sup> *Ibid.* hal 33 & 113.

relevan untuk kondisi iklim tropis lembab. Nilai *reflectivitas* yang terlalu tinggi akan meningkatkan pemantulan radiasi termal yang tinggi, berakibat pula pada peningkatan suhu sekitar, sedangkan nilai *emmisivitas* yang terlalu tinggi akan menyebabkan pelepasan panas berlebih yang juga akan meningkatkan suhu sekitar. Nilai *reflectivitas* berbanding terbalik dengan nilai *emmisivitas*-nya<sup>32</sup>.

Perubahan menjadi energi panas melalui tiga cara yakni (1) konduksi, bila radiasi diserap suatu permukaan hingga masuk ke bagian dalam permukaan tersebut; (2) konveksi, yakni panas yang dihasilkan oleh suatu permukaan diserap oleh udara sekitar, atau sebaliknya kenaikan suhu udara menyebabkan panas yang akan diserap oleh suatu permukaan, dan (3) radiasi pantulan dari permukaan yang juga akan memanaskan udara sekitar<sup>33</sup>.

Radiasi langsung dan *diffuse* merupakan radiasi gelombang pendek. Sementara itu, pantulan radiasi dari suatu permukaan merupakan radiasi gelombang panjang<sup>34</sup>.

### 2.3. Material Bangunan

#### 2.3.1. Papan Semen Partikel

##### a. Pengertian papan semen

Papan semen adalah suatu papan tiruan yang di buat dari potongan kayu atau bahan berlignoselulosa lainnya dengan semen sebagai perekatnya (Sutigno et.al. 1977). Bahan bakunya berupa potongan kayu kecil yang bentuknya bermacam-macam, seperti wol kayu, selumbar, serutan, serbuk dan serat. Bila memakai wol kayu maka bahan disebut papan semen wol kayu atau secara umum disebut papan wol kayu. Kalau menggunakan serat yang berasal dari *pulp*, maka bahan disebut papan semen *pulp*, sedangkan yang lainnya disebut papan semen partikel.

Pada penelitian yang penulis lakukan ini menggunakan bahan baku kayu sengon. Kayu sengon tersebut diserut dengan alat *chipper*, sehingga menjadi serat-serat yang berukuran 2 cm dengan ketebalan 2 mm. Karena bentuk dan

<sup>32</sup> *Ibid.* hal 113

<sup>33</sup> Bill Watts, 1997, "*Comfort, health and environmental physic* dalam buku *Environmental Design*. London: E & FN SPON," hal.10-11.

<sup>34</sup> Victor Olgyay, 1962, "*Design With Climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*, Princeton:" Princeton University Press, hal.32.

bahan dasarnya kayu itulah produk ini disebut papan semen partikel (*cement bonded board*).

b. Bahan dasar papan semen

Kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen), biasa digunakan untuk papan, balok, tiang dan kaso. Selain itu dapat juga dipakai untuk pembuatan peti, pulp, papan semen wol kayu, papan serat dan papan partikel. (Anonim, 2009).

c. Semen Portland dan air

Di bidang teknik arti semen adalah sejenis bahan perekat yang dapat merekatkan batuan-batuan, bata sebagai konstruksi bangunan. Daya rekatnya disebabkan oleh air, oleh karena itu disebut perekat hidrolis (Anonim, 2009).

Sajad (1984), dalam hasil penelitiannya mengemukakan bahwa peningkatan kadar semen dalam pembuatan papan semen berpengaruh nyata terhadap keteguhan lentur, daya serap air, pengembangan tebal dan pengurangan tebal. Tetapi tidak berpengaruh terhadap kadar air.

d. Sifat papan semen partikel

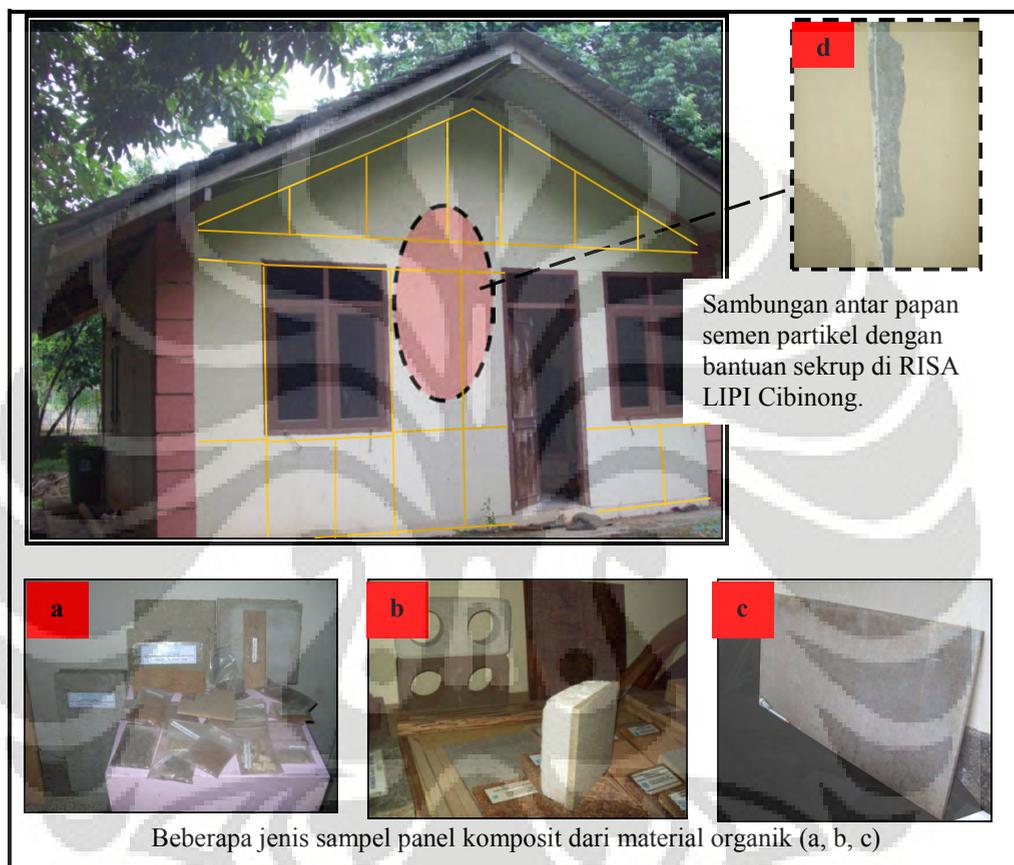
Sifat khusus dari papan semen partikel ditentukan oleh dua komponen utama yaitu kayu dan semen yang digunakan. Kayu mempunyai sifat ringan, elastik dan mudah dikerjakan, tidak tahan cuaca, tidak tahan api, rayap dan jamur. Sedangkan semen mempunyai sifat kebalikannya yaitu berat, kaku, sulit dikerjakan, tahan terhadap pengaruh cuaca, api, rayap dan jamur. Papan partikel berpengikat semen memiliki ketahanan yang istimewa terhadap perusakan dari pembusukan, serangga dan api. Jadi sangat cocok untuk permukaan dinding eksterior dan interior dan untuk pembuatan bangunan umum dan komersial (Haygreen dan Bowyer, 1993).

Papan semen partikel yang dihasilkan laboratorium Pusat Penelitian Permukiman Bandung (Anonim, 2009) mempunyai sifat fisis sebagai berikut:

- Kerapatan 1,15 g/cm<sup>3</sup>;
- Perbandingan kayu dengan semen 1 : 2,75;

- Dimensi kayu pengisi 2 cm panjang dan 2 mm tipis.

Pada gambar 2.4. dibawah ini menunjukkan aplikasi papan semen partikel, yang di terapkan dalam bangunan rumah sederhana. Bangunan rumah dengan bahan dinding dari papan semen partikel ini berada pada lingkungan luar yang terkena langsung oleh kondisi cuaca dan iklim setempat.



Gambar 2.4. Gambar aplikasi papan semen partikel sebagai bentuk rumah (Sumber: Peneliti, 2010)

### 2.3.2. Interaksi Panas pada permukaan material<sup>35</sup>

Interaksi panas terjadi pada permukaan suatu material maupun di dalam material itu sendiri. Interaksi pada permukaan material biasanya diakibatkan oleh radiasi dan efek konvektif terhadap suhu luar yang juga dipengaruhi oleh pergerakan udara. Aliran udara pada suatu permukaan akan mengurangi panas pada material tersebut.

<sup>35</sup> *Ibid. hal 113*

Radiasi matahari langsung dan diffuse merupakan gelombang pendek terdiri dari cahaya terlihat (panjang gelombang 0,3 microns – 0,7 microns) dan radiasi infra merah gelombang pendek (1,7 microns – 3,5 microns). Hal ini menyebabkan nilai *reflektivitas*-nya sangat dipengaruhi oleh warna permukaan.

Sementara pertukaran panas dari pantulan objek sekitar menghasilkan radiasi termal yang termasuk kategori infra merah gelombang panjang (5 microns – 20 microns). Perlakuan material terhadap radiasi ini terkait dengan tingkat *reflektivitas*-nya akan lebih dipengaruhi oleh densitas permukaan dan komposisi molekul material dari pada aspek warnanya.

### 2.3.3. Suhu Permukaan Material (*Sol-air Temperature*)

Suhu suatu permukaan akibat radiasi matahari dan suhu udara luar disebut *Sol-air temperature*, formulasi untuk menghitung *sol-air* adalah:

$$T_s = T_o + [I \times a/f_o] \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$T_s$  = *sol-air temperture* dalam °C

$T_o$  = temperatur udara luar, dalam °C

$I$  = intensitas radiasi, dalam W/m<sup>2</sup>

$A$  = indeks penyerapan permukaan

$f_o$  = konduktansi permukaan luar, dalam W/m<sup>2</sup> deg C

Pada iklim tropis, nilai  $f_o$  yang lebih besar akan membantu mengurangi terjadinya pemanasan yang berlebihan. Radiasi sinar matahari yang menerpa suatu permukaan, akan meningkatkan suhu permukaan jauh di atas suhu udara di sekitarnya, karena itu beberapa panas segera hilang bersama udara luar. Nilai  $f_o$  yang lebih besar akan membantu menghilangkan lebih banyak panas sebelum dialirkan melalui material dinding.

Pada tabel 2.1. di bawah ini adalah faktor konduktan dinding batu bata pada setiap orientasi. Di tabel tersebut terlihat perbedaan nilai konduktan dinding apabila berada pada orientasi matahari yang berbeda. Sehingga apabila nilai

konduktan tersebut dimasukkan ke dalam rumus, maka perlu diperhatikan kedudukan orientasi dindingnya.

Tabel 2.1. Tabel faktor konduktan<sup>36</sup>

Elemen	Konduktan (W/m <sup>2</sup> deg °C)
dinding Selatan, terlindung	7,78
dinding Selatan, normal	10,00
dinding Selatan, sangat terbuka	13,18
dinding Barat, Barat Daya dan Tenggara, terlindung	10,00
dinding Barat, Barat Daya dan Tenggara, normal	13,18
dinding Barat, Barat Daya dan Tenggara, sangat terbuka	18,90
dinding Barat Laut, terlindung	13,18
dinding Barat Laut, normal	18,90
dinding Barat Laut, sangat terbuka	31,50
dinding Utara, Timur Laut dan Timur, terlindung	13,18
dinding Utara, Timur Laut dan Timur, normal	18,90
dinding Utara, Timur Laut dan Timur, sangat terbuka	81,20
atap terlindung	14,20
atap normal	22,70
atap sangat terbuka	56,70

(Sumber: Prasasto SATWIKO, 2004)

#### 2.3.4. Karakteristik Material Terhadap Suhu (*Thermal Properties*)

Masing-masing material memiliki karakteristik tersendiri dalam kemampuannya melawan panas. Sebagaimana telah disampaikan oleh Rosenlund (2000), kemampuan material melawan panas yang mempengaruhi bangunan, disebut *thermal properties* adalah:

- a. *Density*: mempunyai satuan kg/m<sup>3</sup>, merupakan perbandingan antara berat dan volume, *density* memegang peran yang besar untuk *thermal properties*, material mempunyai *density* ringan mempunyai daya isolasi lebih besar daripada material yang ber-*density* besar.
- b. *Conductivity*: mempunyai satuan W/mK, adalah kemampuan material untuk berkonduksi panas. Material yang mempunyai *conductivity* rendah

<sup>36</sup> Prasasto SATWIKO, 2004, "Fisika Bangunan 1," Yogyakarta: Penerbit Andi, hal.26.

mempunyai daya isolator yang baik, sebaliknya material yang mempunyai *conductivity* tinggi merupakan material penghantar panas yang baik.

- c. *Specific heat*: mempunyai satuan Wh/kgK, adalah mengindikasikan material mempunyai kemampuan menyimpan sejumlah energy. *Specific heat* yang tinggi artinya material mempunyai kemampuan banyak menyimpan panas (*heat storage*).

Kombinasi dari ketiga *thermal properties* material di atas menghasilkan apa yang disebut *Time-lag*. Definisi *Time-lag* adalah waktu maksimum yang dipergunakan oleh dinding untuk mengeluarkan panas dari permukaan luar dinding ke bagian dalam dinding.

Karakteristik material yang lain adalah *admittance*. Milbank dan Harrington-Lynn (1974) menyatakan, *admittance* adalah *thermal resistance* yang berkaitan dengan reaksi terhadap *heat flow* dari *cyclic condition*, mempunyai satuan seperti *U-Value*.

Pendapat lain dari para ahli Markus T.A dan Moris E.N. (1980) menyatakan, semakin besar *admittance*, semakin rendah *swing* temperturnya. Material yang padat mempunyai *admittance* lebih besar, sedangkan *heavy weight structure* mempunyai *swing* temperatur yang kecil. Material juga mempunyai *thermal capacity*, yaitu jumlah panas yang disimpan oleh material, untuk kemudian dilepaskan kembali.

Sementara itu, *decrement factor* menurut Szokolay (1987), adalah perbandingan antara deviasi *output* panas puncak dari *mean heat flow*, terhadap kondisi yang sama tetapi mempunyai *zero thermal mass*.

Pendapat dari semua ahli di atas, menunjukkan bahwa *thermal properties* dan karakteristik dari material berkaitan erat dengan penyimpanan panas, isolasi terhadap panas, temperatur puncak, tinggi rendahnya temperatur dari material dinding bangunan dan temperatur yang nyaman bagi manusia.

Sebagai gambaran perbandingan pada tabel 2.2 terdapat data perbandingan nilai properti material antara dua jenis batu bata (batu bata yang digunakan di kawasan Malioboro dan batu bata yang digunakan ditempat lain). Diterangkan bahwa batu bata dengan nilai absorptivitas tinggi (0,89), konduktivitas yang juga tinggi (1,210 W/m°C), nilai *embodied energy* menengah (1,2), hanya

menghasilkan 33,3% kenyamanan termal harian. Berdasar data tersebut maka berbagai tipe batu bata hanya akan menghasilkan variasi suhu luar yang relatif sama.

### 2.3.5. Properti Material Batu Bata

Batu bata dengan nilai absorptivitas tinggi (0,89), konduktivitas yang juga tinggi (1,210 W/m°C), nilai embodied energy menengah (1,2). hanya menghasilkan 33,3% kenyamanan termal harian. Berdasar data tersebut maka berbagai tipe batu bata hanya akan menghasilkan variasi suhu luar yang relatif sama. Data selengkapnya tentang perbandingan properti material batu bata dapat dilihat pada table 2.2.

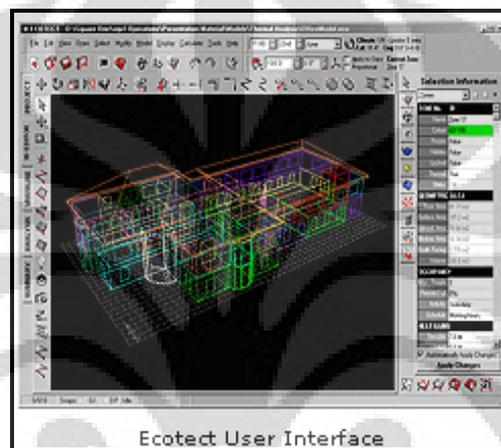
Tabel 2.2. Tabel perbandingan dampak pemakaian jenis batu bata

Properti Material	To	To
	(batu bata-a: Malioboro)	(batu bata-b)
Absorptivitas ( $\alpha_w$ )	0.89	0.65
Densitas ( $\text{kg/m}^2$ )	1800	1500
Konduktivitas ( $\text{W/m } ^\circ\text{C}$ )	1.210	0.650
<i>Embodied Energy</i>	1,2	1,2
Ho		
6	25	24.8
7	25.5	25.3
8	26.6	26.2
9	27.5	26.9
10	29.3	29.1
11	30.5	29.4
12	34.5	32.8
13	31.8	30.5
14	32.5	31.1
15	32.5	31.1
16	31.5	30.3
17	30	29.0
18	29	28.2
Persentase		
Kenyamanan Termal Harian	0.33	0.33

(Sumber: Anonim, 1997)

#### 2.4. Definisi dan Karakteristik *Software Ecotect*<sup>37</sup>

Piranti lunak *Ecotect* diprogram sebagai bagian dari presentasi tesis doctoral Dr. Andrew Marsh di *School of Architecture and Fine Arts* pada *The University of Western Australia*. *Ecotect 2010* merupakan *software* analisis bangunan paling komprehensif dan paling inovatif. Program ini dilengkapi dengan 3D modeling yang diintegrasikan dengan berbagai fungsi analisis dan simulasi yang mudah dioperasikan bagi perancang bangunan.



Gambar 2.5. Tampilan rekayasa desain luaran dari *ecotect*  
(Sumber: [www.google.com](http://www.google.com), 2010)

Desain konseptual merupakan proses berulang yang melibatkan pencarian ide yang perlu diuji dan dievaluasi, dicoret segera atau direvisi. Metode yang umum dilakukan dalam menguji ide desain berupa sketsa, analisis geometri sederhana, atau kalkulasi sederhana. Kriteria pengujian desain seringkali berkaitan dengan kecepatan. Kemampuan untuk menyingkirkan ide yang tidak sesuai dapat menghemat waktu dan upaya secara signifikan.

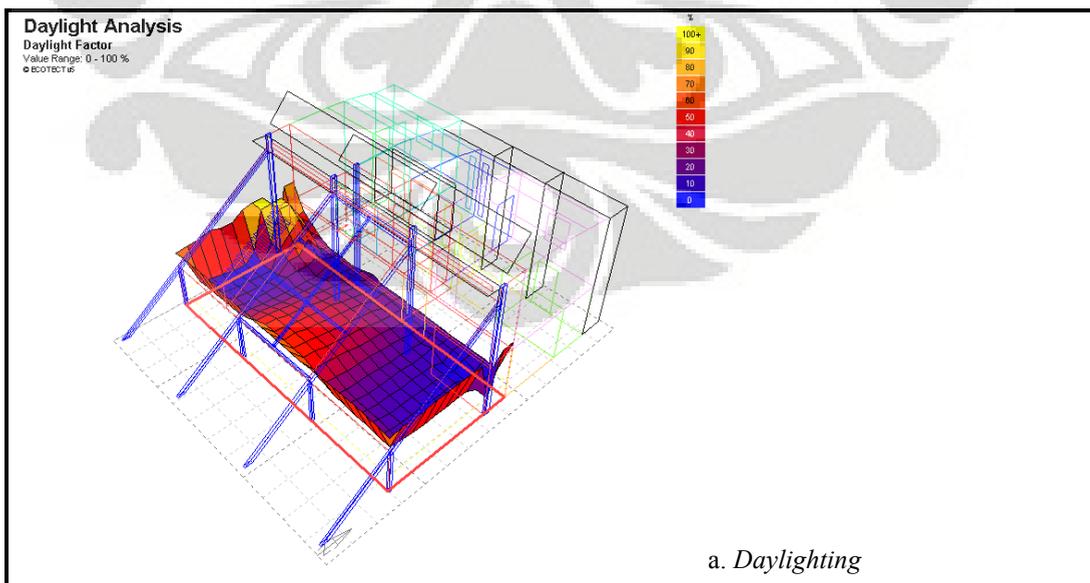
Sebagian besar proses pengujian adalah merekayasa bentuk sampai diketahui keberhasilannya. Sebagai contoh, seorang klien meminta solusi desain pasif yang komplis untuk desain perkantoran. *Ecotect* tidak mengetahui sistem pasif apa yang akan digunakan atau bahkan kondisi bagaimana yang akan terasa nyaman, namun melalui input geometri dan material, *ecotect* mampu mengkalkulasi level pencahayaan alami pada suatu ruangan, kondisi temperatur yang berbeda pada setiap ruang, seberapa luas *shading* harus dibuat untuk

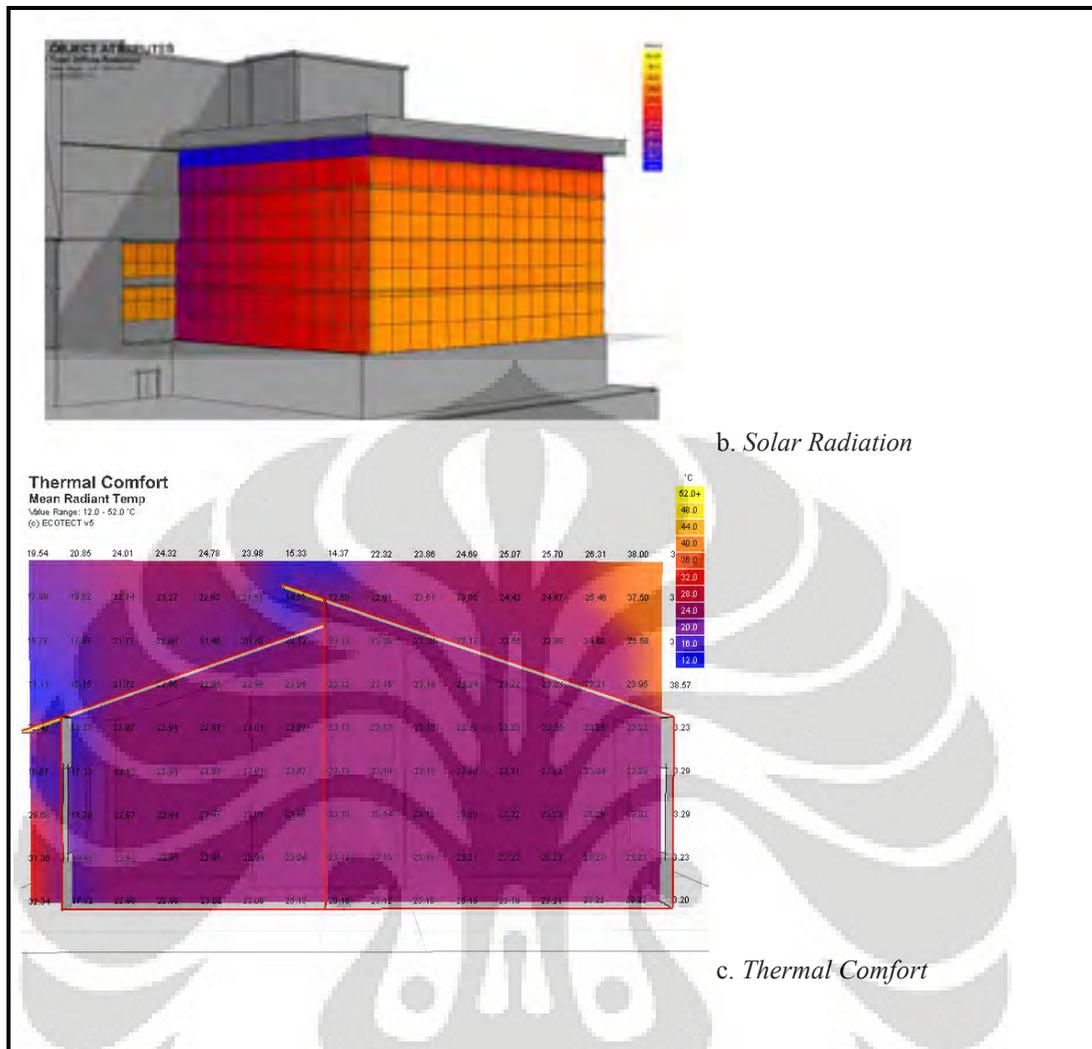
<sup>37</sup> [www.squ1.com](http://www.squ1.com)

mencegah penetrasi sinar matahari langsung, dan secara estimasi kasar seberapa besar biayanya. Tugas perancang adalah memberi masukan sejumlah usulan desain, memutuskan analisis mana yang diperlukan dan dikomparasikan. *Ecotect* menyediakan berbagai analisis bangunan agar pengguna mendapatkan variasi masukan yang maksimal.

Di sisi lain terdapat banyak analisis yang tidak perlu dicetak. Cukup dengan melihat animasi partikel suara dapat memberikan banyak informasi yang berguna bagi perancang. Kemudian dilakukan rekayasa desain kembali. Seperti halnya para perancang yang dapat mendesain berbagai pilihan bentuk hanya dengan sketsa pensil dibantu imajinasinya, dalam *ecotect* opsi pencahayaan dan termal sederhana dapat secara cepat “disketsa” dan diuji. Analisis terhadap berbagai pilihan secara progresif akan memandu dan memperbaiki desain selanjutnya.

*Ecotect* bukanlah ditujukan sebagai program validasi desain yang dapat menjawab semua permasalahan secara final. Untuk manfaat maksimum, *ecotect* perlu digunakan pada tahapan awal sebuah proyek. Saat desain mendekati penyelesaian, sangat direkomendasikan untuk mengekspor model *ecotect* ke program validasi yang lebih detail. Beberapa contoh simulasi *ecotect* dapat dilihat pada gambar 2.6 di bawah ini.





Gambar 2.6. Contoh simulasi ecoteect (a. Daylighting, b. Solar Radiation, c. Thermal Comfort (Sumber: [www.google.com](http://www.google.com), 2010)

## 2.5. Pertimbangan Ekonomi

Dalam perancangan arsitektur terdapat beberapa metode dasar yang dapat digunakan untuk bahan evaluasi pertimbangan ekonomi. Akan tetapi pada penelitian ini, metode yang akan dipertimbangkan dalam evaluasi pertimbangan ekonomi ada tiga, yakni:

- Metode Algoritma*, metode yang diterapkan dengan model matematika dikarenakan perilaku mekanismenya sudah diketahui secara jelas. Misalnya *cost* dan *benefit ratio*.
- Enumerasi*, hipotesis desain dimunculkan kemudian kinerjanya dievaluasi dalam tinjauan kuantitatif – bila tidak memuaskan

selanjutnya di modifikasi ulang. Sebagai contoh, pemilihan antara dua alternatif, dievaluasi kesamaan kinerjanya (misalnya dengan jumlah lumen yang sama) selanjutnya dihitung perbedaan biaya total (*capital + operating cost*).

- c. Metode berdasarkan *perbaikan progresif* (know-how method), bila diketahui sebelumnya persoalan serupa dipecahkan, dievaluasi kekurangannya dan dilakukan perbaikan pada solusi sebelumnya tanpa perubahan radikal. Contohnya, pemilihan berbagai material berdasarkan harga dan *thermal property* materialnya, kemudian dibuat indeks dengan menghitung rasio biaya per nilai *resistance* (R)-nya. Kemudian apabila kemudian lebih dari satu aspek yang ditinjau, maka dapat dimunculkan *indeks kinerja panel komposit* (indeks kinerja dan indeks biaya) yang memasukkan nilai harga, biaya pemeliharaan dan umur material.

Sebagai contoh dari perhitungan perbandingan harga kinerja dari beberapa panel komposit lain dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini:

Tabel 2.3. Perbandingan indeks kinerja panel komposit

Material	k (W/m degC)	Harga per m <sup>2</sup> (p)	R = w/k	Index (p/R)
<i>Slag Wool</i>	0.036	86	1.39	62
<i>Glass Wool</i>	0.037	57	1.35	42

(Sumber: Szokolay, 1975)

## 2.6. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini tidak lepas dari pandangan terhadap beberapa penelitian sejenis yang pernah dilakukan. Adapun penelitian sejenis yang telah terlebih dahulu dilakukan adalah:

- a. Pengaruh “*Thermal Properties*” Material Bata Merah Dan Batako Sebagai Dinding, Terhadap Efisiensi Energi Dalam Ruang Di Surabaya.

Penelitian ini dilakukan oleh V. Totok Noerwasito dan Mas Santosa (2006), dari penelitian ini tergambar tentang bangunan di kawasan Surabaya. Surabaya adalah salah satu kota di daerah tropis, mempunyai temperatur yang relatif tinggi. Masalah utama temperature dalam ruang di Surabaya adalah: temperatur didalam ruang pada malam hari lebih tinggi daripada temperatur luar. Pada penelitian ini, material dinding batako dan bata merah dicoba sebagai variabel utama. Kedua material dipilih untuk mendapatkan material yang mempunyai efisien energi untuk mendapatkan temperatur yang rendah dalam ruangan. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah: pengukuran di lapangan dan perhitungan model simulasi dengan bantuan program komputer. Penelitian ini membandingkan antara temperatur dinding batako dan bata merah yang meliputi: Tinggi temperatur puncak, besar *overheated* dan durasi *overheated*, disamping *thermal properties* materialnya. Temuan yang diperoleh adalah: bahwa secara umum dinding bata merah lebih efisien energi daripada dinding batako.

b. Pengaruh Penggunaan Dinding Bata Beton Sekam Padi Terhadap Kondisi Termal Ruang Rumah Tinggal.

Kulit bangunan dalam hal ini dinding merupakan elemen yang sangat berpengaruh pada kondisi termal dalam bangunan, karena merupakan bagian yang secara langsung berhubungan dengan iklim luar atau lingkungan luar sekitar bangunan. Jenis material yang digunakan untuk dinding akan sangat mempengaruhi kondisi termal yang diperoleh dalam bangunan. Pada penelitian ini, material Bata beton sekam padi (BBSP) dan Bata beton murni (BBM) dicoba sebagai bahan penelitian yang dipilih untuk mengetahui material yang mempunyai efisien energi untuk mendapatkan temperatur yang rendah dalam bangunan.

Bata Beton Sekam Padi selanjutnya disebut BBSP adalah bahan bangunan alternatif untuk dinding, merupakan beton yang terbuat dari campuran semen dan pasir serta air dengan bahan tambahan sekam padi sebagai bahan dasarnya. Bandung adalah salah satu kota didaerah tropis yang juga menjadi salah satu daerah penghasil padi di Indonesia. Banyaknya hasil panen tiap tahunnya membuat limbah padi yang berupa sekam akan semakin berlimpah, berkaitan dengan potensi sekam padi yang cukup besar yang dapat dimanfaatkan sebagai

bahan dinding bangunan dan dapat digunakan masyarakat maka aspek kenyamanan (khususnya kondisi termal) sangatlah penting untuk di ketahui.

Metoda yang dilakukan pada penelitian ini adalah eksperimen yaitu melakukan pengujian material di laboratorium dan pengukuran dengan menggunakan alat pengukur suhu termodak. Penelitian ini membandingkan antara temperature dinding BBSP dan dinding BBM meliputi nilai konduktivitas material, titik ukur, temperature puncak, waktu nyaman optimal, serta arah orientasi. Temuan yang diperoleh adalah bahwa secara umum pengaruh kondisi termal dinding BBSP lebih baik dari pada dinding BBM.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Pada bab ini saya menguraikan kerangka pemikiran, metode penelitian dan pelaksanaan penelitian. Untuk selanjutnya secara lebih detail saya akan membahas penetapan lokasi penelitian pengujian konduktivitas material penentuan variable penelitian, metode pengumpulan data, alat dan bahan penelitian. Kemudian saya akan melakukan simulasi komputer untuk mendukung tampilan data serta metode analisa yang digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian.

#### **3.1. Kerangka Pemikiran**

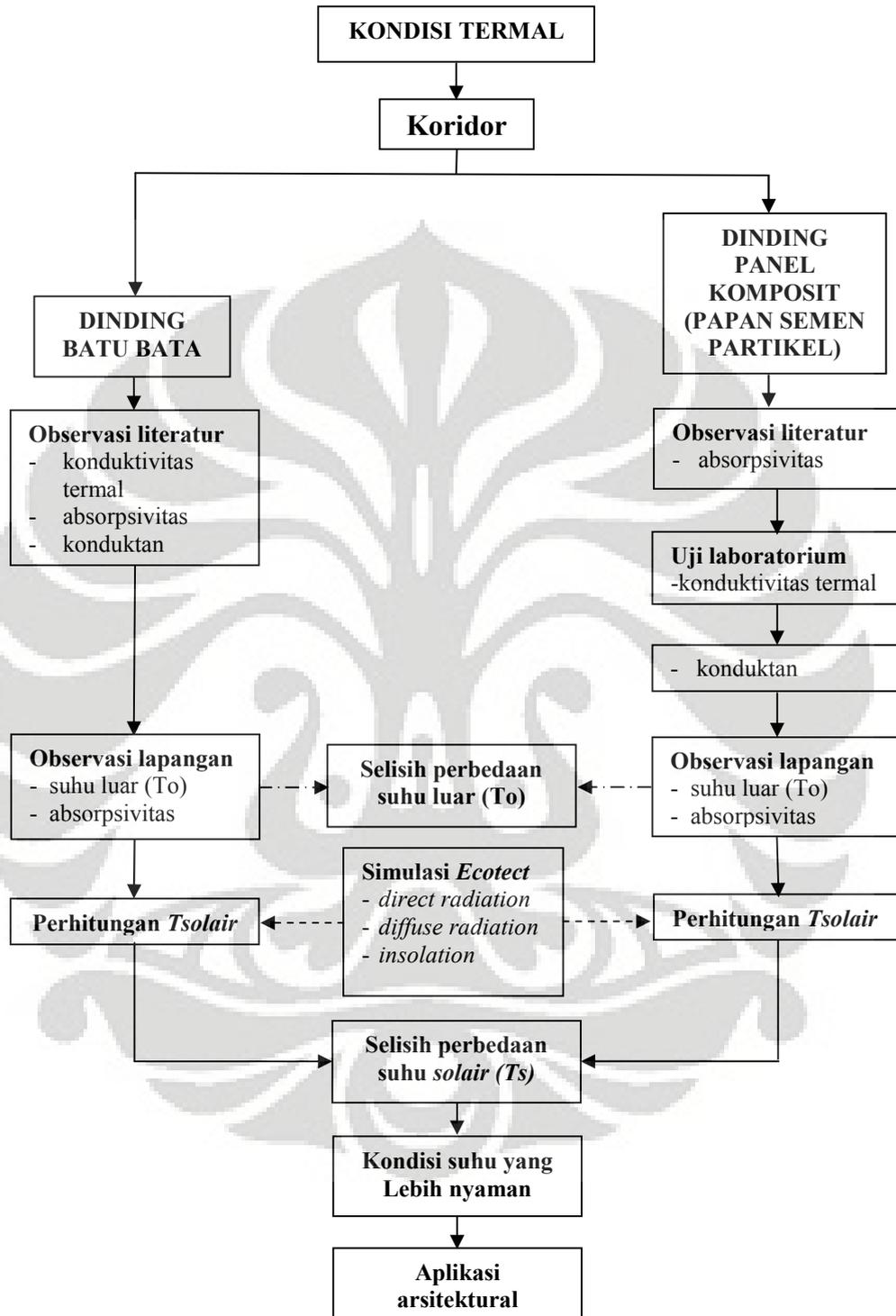
Langkah penelitian ini ada dua jalur yaitu meneliti dinding batu-bata dan dinding yang di beri perlakuan tambahan berupa panel semen partikel. Penelitian ini membahas tema tentang pengaruh penggunaan panel komposit berupa papan semen partikel pada dinding di koridor lingkungan terhadap reduksi suhu koridor lingkungan.

Penelitian ini diarahkan dengan menggunakan metode eksperimen, yaitu memberikan perlakuan pada obyek penelitian dengan menggunakan alat ukur. Alat ukur yang dimaksud adalah alat mengukur kondisi termal luar, berupa *pyranometer weather station* untuk mengukur suhu temperatur udara luar.

Sebagai langkah awal dari penelitian kedua material tersebut, saya melakukan penelusuran literatur dari pendapat para ahli yang relefan, observasi lapangan dan perhitungan *sol-air*. Khusus untuk papan semen partikel, karena belum ada data konduktivinya maka saya melakukan penelitian laboratorium menggunakan cara uji *hot-line/hot-wire*. Pelaksanaan pengujian material uji dilaksanakan pada balai bahan bangunan Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Bandung.

Setelah didapatkan data awal material tersebut, kami melakukan penelitian suhu koridor lingkungan di Sosrowijayan untuk mendapatkan selisih suhu luar. Kemudian berdasarkan data suhu luar, saya melakukan simulasi dengan *ecotect*

untuk menggambarkan situasi suhu koridor, yang kelak menjadi bahan analisis untuk menjawab tujuan penelitian.



Gambar 3.1. Bagan alur penelitian

(Sumber: Peneliti, 2010)

### 3.2. Metode Penelitian

Metode merupakan prosedur untuk mendapatkan dan mempergunakan data (Gie, 2004). Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode observasi-eksperimental, yakni dengan membandingkan hasil pengukuran dinding papan semen partikel dengan dinding eksisting. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah kuantitatif.

#### 3.2.1. Data dan Alat

Prosedur pengumpulan data dilakukan dengan :

1. Studi literatur untuk mendapatkan informasi mengenai nilai variabel-variabel yang mempengaruhi suhu permukaan suatu material.
2. Uji laboratorium dan simulasi perhitungan dengan *software ecotect* bagi variabel yang tidak memiliki referensi faktual.
3. Pengujian lapangan untuk mengetahui dampak suatu material terhadap suhu lingkungan (TO).

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. Radiasi matahari langsung, atau *direct radiation* ( $I_D$ )
2. Radiasi matahari tak langsung atau pantulan langit, *diffuse radiation* ( $I_d$ )
3. Koefisien pemantulan radiasi oleh permukaan horizontal, atau ( $\rho$ )
4. Nilai *absorpsivitas* ( $\alpha$ ) dan *konduktan* permukaan luar ( $f_o$ ) suatu material.
5. Suhu luar (TO), kecepatan angin ( $W_v$ )
6. Jam observasi ( $H_o$ ).

Sedangkan prosedur dan alat yang akan digunakan untuk mengetahui data nilai ukur masing-masing variabel, simbol dan ketetapan koefisien data yang akan digunakan adalah seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Tabel alat ukur

Variabel	Simbol	Alat pengukur data	Penetapan nilai
<i>Direct radiation</i>	$I_D$	simulasi <i>ecotect</i>	Angka pada pengukuran
<i>Diffuse radiation</i>	$I_d$	simulasi <i>ecotect</i>	Angka pada pengukuran
Reflektivitas	$p$	Kamera digital	Daftar nilai reflektivitas
Absorpsivitas	$\alpha$	Kamera digital	Daftar nilai absorpsivitas
Konduktan	$f_o$	nilai konduktivitas termal	input ketebalan
Suhu luar	$T_O$	Termometer digital	Angka pada pengukuran
Kecepatan angin	$W_v$	Anemometer digital	Angka pada pengukuran
Jam observasi	$H_o$	Jam digital	Angka pada pengukuran

(Sumber: Anonim, Olahan Peneliti, 2010)

### 3.2.2. Waktu Observasi

Observasi grafis/diagram, laboratorium dan simulasi komputer tidak terkait dengan variabel waktu sehingga dapat dilakukan kapan saja.

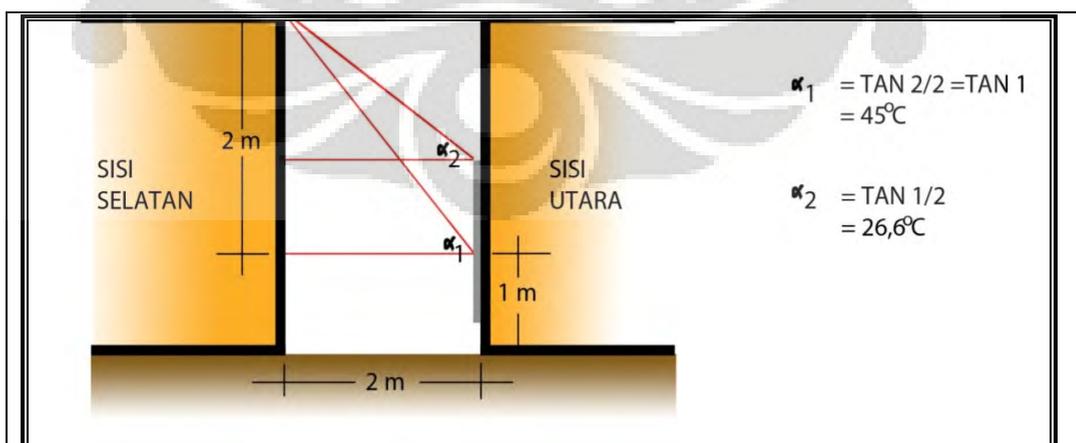
Observasi lapangan dibutuhkan untuk mengukur selisih suhu luar ( $T_O$ ) akibat perbedaan permukaan dinding dan juga pengukuran kecepatan angin ( $W_v$ ) sebagai faktor pendukung kenyamanan termal. Faktor bulan tidak terlalu berpengaruh karena fluktuasi suhu tahunan pada iklim tropis lembab relatif kecil ( $3\text{ }^{\circ}\text{C} - 5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ )<sup>38</sup>. Sementara waktu observasi diperlukan setiap jamnya yakni mulai matahari terbit sekitar jam 06.00 WIB pagi hingga matahari terbenam sekitar jam 18.00 WIB, untuk mengetahui perbedaan fluktuasi suhu harian kedua permukaan yang diuji .

<sup>38</sup> George Lippsmeier, 1994, "*Bangunan Tropis*," Jakarta: Erlangga, hal 14.

### 3.2.3. Lokasi Observasi

Pengukuran suhu permukaan kedua elemen dinding maupun pengaruhnya terhadap suhu luar akan relevan bila lokasi yang ditetapkan sesuai dengan penerapan efektif kedua elemen tersebut, dengan kriteria sebagai berikut :

1. Lokasi uji merupakan area dengan aktifitas yang membutuhkan kenyamanan termal eksterior, (seperti jalan, gang);
2. Terdapat dinding memanjang dari batu bata pada salah satu sisinya;
3. Tidak memungkinkannya penanaman pohon peneduh (berkanopi);
4. Tingkat reflektivitas dari permukaan horizontal yang cukup tinggi, sehingga dapat berpengaruh juga pada suhu permukaan dinding yang diuji;
5. Berdasar (i) potongan koridor, (ii) posisi pemasangan papan semen partikel, serta (iii) ketinggian pengukuran (1 m di atas tanah) maka altitude teoretik yang dapat menyinari panel akan terjadi pada  $\alpha = 27^\circ$ . Perbandingan altitude teoretik terhadap altitude simulasi untuk lokasi Yogyakarta ( $L = 7$  LS) akan memperoleh hasil bahwa akan penyinaran-langsung terhadap lokasi terjadi pada jam 09.00 - 16.30 WIB. Hal ini berarti bahwa koridor akan menerima radiasi-langsung sinar matahari selama 7 jam 30 menit. Radiasi langsung pada rentang waktu tersebut (7,5 jam) ditambah dengan radiasi difus (5,5 jam) merupakan paparan yang signifikan terhadap lokasi studi.



Gambar 3.2. Potongan lokasi pengamatan penyinaran matahari dan kedudukan papan semen partikel pada koridor.  
(Sumber: Peneliti, 2010)

Tabel 3.2. Tabulasi data penyinaran matahari

Tabulated Daily Solar Data						
Latitude: 7.0°		Date: 15th November		Local Correction: -40.5 mins		
Longitude: 106.0°		Julian Date: 319		Equation of Time: 15.5 mins		
Timezone: 120.0° [+8.0hrs]		Sunrise: 06:49		Declination: -18.3°		
Orientation: 0.0°		Sunset: 18:31				
Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading
07:00	(06:19)	108.8°	2.4°	108.8°	172.6°	--
07:30	(06:49)	110.0°	9.4°	110.0°	154.1°	--
08:00	(07:19)	111.5°	16.4°	111.5°	141.2°	--
08:30	(07:49)	113.4°	23.3°	113.4°	132.8°	--
09:00	(08:19)	115.9°	30.0°	115.9°	127.1°	--
09:30	(08:49)	119.1°	36.6°	119.1°	123.2°	--
10:00	(09:19)	123.2°	43.0°	123.2°	120.4°	--
10:30	(09:49)	128.7°	49.0°	128.7°	118.5°	--
11:00	(10:19)	136.0°	54.6°	136.0°	117.1°	--
11:30	(10:49)	145.8°	59.3°	145.8°	116.2°	--
12:00	(11:19)	158.6°	62.8°	158.6°	115.6°	--
12:30	(11:49)	174.2°	64.5°	174.2°	115.3°	--
13:00	(12:19)	-169.3°	64.2°	-169.3°	115.4°	--
13:30	(12:49)	-154.4°	61.9°	-154.4°	115.7°	--
14:00	(13:19)	-142.5°	58.0°	-142.5°	116.4°	--
14:30	(13:49)	-133.5°	53.0°	-133.5°	117.4°	--
15:00	(14:19)	-126.9°	47.3°	-126.9°	119.0°	--
15:30	(14:49)	-121.8°	41.1°	-121.8°	121.1°	--
16:00	(15:19)	-118.0°	34.7°	-118.0°	124.2°	--
16:30	(15:49)	-115.1°	28.0°	-115.1°	128.6°	--
17:00	(16:19)	-112.8°	21.2°	-112.8°	134.9°	--
17:30	(16:49)	-111.0°	14.3°	-111.0°	144.6°	--
18:00	(17:19)	-109.6°	7.3°	-109.6°	159.0°	--
18:30	(17:49)	-108.5°	0.3°	-108.5°	179.1°	--

(Sumber : Simulasi *ecotect v 5.6*)

### 3.2.4. Cara pengambilan data

#### a. Observasi simulasi komputer

Untuk mendapatkan angka radiasi langsung dan tidak langsung maka posisi objek yang diuji harus diketahui koordinat geografis baik lintang maupun bujur juga orientasi terhadap matahari. Melalui simulasi *software ecotect* akan didapat angka-angka radiasi setiap jam pada hari pengamatan.

#### b. Observasi laboratorium

Nilai konduktivitas material inovasi baru seperti papan semen partikel terkadang belum bisa didapatkan informasinya dari literatur. Oleh karenanya, diperlukan uji laboratorium dengan memakai alat uji konduktivitas. (lihat lampiran 1)

#### c. Observasi lapangan

Absorpsivitas ( $\alpha$ ) eksisting diperoleh melalui observasi terhadap aplikasi material dan warna dinding batu bata, lalu diketahui nilai  $\alpha$  melalui tabel nilai absorpsivitas. Demikian pula halnya dengan reflektivitas permukaan horizontal ( $\rho_p$ ) eksisting. Absorpsivitas ( $\alpha$ ) pembanding yakni dinding papan semen partikel

sudah ditetapkan sebelumnya. Kecepatan angin ( $W_v$ ) diperoleh melalui pengukuran pada ketinggian 1 m menggunakan anemometer digital.

Pengujian lapangan dilakukan untuk mengetahui secara empirik selisih perbedaan suhu luar akibat penggunaan material yang berbeda. Pengumpulan data suhu tabung-kering dan TO, dilakukan melalui pengukuran di ketinggian 1 meter pada 9 titik pengukuran dengan komposisi 3 baris dan 3 kolom, modul jarak 50 cm, menggunakan termometer yang terlindung dari sinar matahari langsung yang dicatat setiap jam ( $H_o$ ) pada periode 06.00 – 18.00 WIB. Waktu observasi lapangan dilakukan pada 15 November 2009<sup>39</sup>, (sebagai waktu representatif untuk pengukuran) selama 1 hari, pukul 06.00 hingga 18.00 WIB.

### 3.2.5. Analisis Data

Hasil pengukuran suhu luar pada koridor dengan permukaan dinding vertikal dari batu bata maupun papan semen partikel setiap jamnya akan dijumlahkan kemudian diambil rata-ratanya. Selanjutnya dilakukan perbandingan nilai rata-rata dari dua lokasi pengujian tersebut, sehingga didapat selisih suhu keduanya.

Perhitungan berikutnya adalah mendapatkan temperatur *sol-air* dari kedua material. Variabel yang diperlukan adalah radiasi matahari setiap jamnya (*insolation*), tingkat absorpsivitas kedua material, dan faktor konduktan.

### 3.3. Deskripsi Lokasi

Koridor utama yang dipilih adalah koridor di permukiman Sosrowijayan. Pada koridor ini terdapat dinding pagar dari batu bata pada kedua sisinya. Ketinggian dinding mencapai 3 meter. Lebar jalan 1,5 – 2,5 meter merupakan perkerasan dari *paving block*. Vegetasi pada lokasi pengamatan sama sekali tidak ada. Sampel penelitian diambil koridor orientasi arah Timur - Barat sebagai eksperimen utama. Kemudian juga dilakukan pemilihan sampel alternatif sebagai pembanding pada koridor orientasi arah Utara - Selatan.

<sup>39</sup> SK SNI T-14-1993-03 dan SNI 03-6389-2000



Gambar 3.3. Lokasi pengamatan

Penetapan lokasi penelitian ini yaitu pada area sekitar kawasan Malioboro Yogyakarta, yang kemudian dijadikan sebagai kasus pemodelan. Sebagai permukiman yang terbagi dalam 4 wilayah administrasi rukun tetangga (RT) kampung Sosrowijayan, batas-batas area ini mencakup, di sebelah Timur berbatasan dengan jalan Malioboro, sebelah Selatan berbatasan dengan jalan Sosrowijayan, sebelah Utara berbatasan dengan jalan Pasar Kembang dan sebelah Barat berbatasan dengan jalan Gandekan<sup>40</sup>

<sup>40</sup> ANONIM, 2000, "Malioboro Revitalization Project, Yogyakarta: Provincial Government of Daerah Istimewa Yogyakarta."

### 3.4. Pengumpulan Data

#### 3.4.1. Observasi Simulasi *Ecotect*<sup>41</sup>

Pada tahapan ini merupakan tahapan yang paling diabaikan oleh *software* analisis dan simulasi bangunan konvensional, utamanya dikarenakan program-program tersebut tidak memuat data kuantitatif. Padahal masukan pada tahap ini akan memberi manfaat bagi perancang, sehingga dapat memandu mereka dalam proses pengambilan keputusan sejak awal untuk mendapatkan solusi desain yang lebih efektif dan efisien sehingga terhindar dari hasil kerja tambal sulam gara-gara pilihan salah.

Karakteristik yang paling penting dalam *ecotect* adalah pendekatan interaktif dalam analisis. Perbedaan penggunaan karpet dapat langsung diketahui dengan membandingkan respon akustik, tingkat iluminasi dan temperturnya. Tambahkan jendela, dengan segera dapat diketahui efek temperturnya, *daylight factor*, radiasi matahari yang jatuh, dan biaya bangunannya. Pancaran partikel suara dan pantulannya dapat terlihat dalam tiga dimensi. *Ecotect* juga merupakan satu-satunya *software* yang menyertakan analisis kenyamanan, emisi gas rumah kaca, *embodied energy* bersamaan dengan biaya konstruksi dan biaya operasional sehingga terlihat secara langsung perbandingannya.

Aspek lainnya dari *Ecotect* yang menonjol adalah antarmuka 3D yang inovatif. Sistem penggambaran dengan CAD sebenarnya tidak tepat untuk tahap awal desain, memaksa perancang berfikir matematis pada saat seharusnya berfikir intuitif. Oleh karena itu, sistem penggambaran 3D yang fleksibel dan intuitif telah dirancang dengan memunculkan seperangkat relasi antar elemen bangunan mulai dari yang sangat sederhana hingga simplifikasi kreasi geometri yang rumit sekalipun dan juga fleksibilitas pengeditan saat desain kian kompleks.

Lingkup penggunaan *ecotect* adalah sebagai berikut:

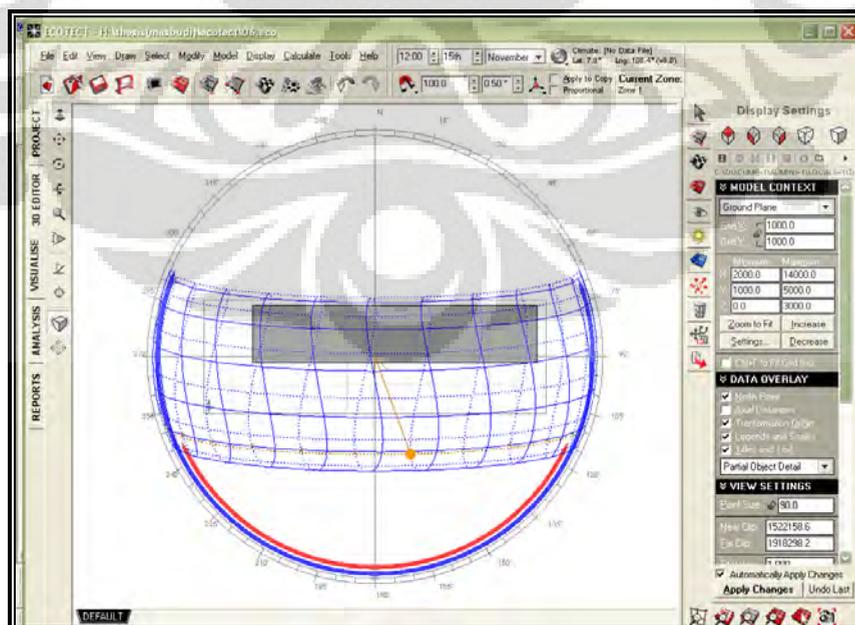
- Menampilkan dan membuat animasi bayangan dan pemantulan;
- Memunculkan diagram matahari yang interaktif untuk analisis *overshadowing*;

---

<sup>41</sup> [www.squ1.com](http://www.squ1.com)

- Menghitung radiasi matahari yang jatuh pada setiap permukaan dan persentase bayangannya;
- Menghitung *daylight factor* dan level pencahayaan buatan baik skala ruang maupun pada titik tertentu;
- Menghitung beban panas bulanan dan temperature setiap jam ;
- Memunculkan biaya material dan dampak lingkungannya;
- Melacak jalur partikel akustik maupun sinar dalam ruangan;
- Mengkalkulasi secara cepat waktu *reverberasi* dalam nilai statistik maupun simulasi;
- Mengeksport ke VRML untuk visualisasi dan presentasi interaktif ke klien;
- Mengeksport ke *software radiance* untuk analisis pencahayaan yang lebih akurat;
- Mengakomodasi berbagai format file analisis maupun CAD.

Dengan memasukkan posisi geografis dan orientasi dinding maka akan didapat jumlah radiasi setiap jam yang akan menyentuh suatu permukaan. Kota Yogyakarta terletak pada posisi 7°47" LS, 110°26 BT. Dengan koridor sebagian besar memanjang dari Timur ke Barat. Tanggal pengamatan dimasukkan juga agar diketahui sudut jatuh dan sudut datangnya.



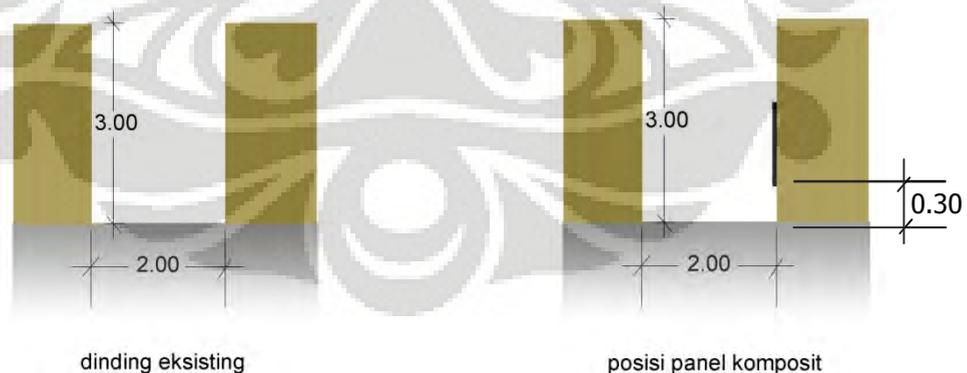
Gambar 3.4. Posisi matahari pada tanggal pengamatan  
(Sumber : Simulasi *Ecotect v5.6*)

### 3.4.2. Observasi Laboratorium

Pengujian *thermal conductivity* pada papan semen partikel organik dilakukan di laboratorium Puslitbangkim Bandung dengan sistem dan peralatan *hot line/hot wire*. Hasil pengukurannya adalah 0,315 Kcal/mh<sup>o</sup>C atau setara dengan 0,0037 W/m<sup>o</sup>C. Perbandingan dengan konduktivitas batubata adalah 1,210 W/m<sup>o</sup>C dan plester 0,90 W/m<sup>o</sup>C. Untuk hasil data pengujian nilai konduktivitas papan semen partikel selengkapnya terlampir pada lampiran 2.

### 3.4.3. Observasi Lapangan

Pengumpulan data *dry-bulb* temperatur dari suhu luar TO, dilakukan melalui pengukuran terhadap kedua jenis dinding dalam waktu bersamaan di ketinggian 1 meter menggunakan termometer (*pyranometer weather station*), yang terlindung dari sinar matahari langsung. Ketinggian pengukuran ditetapkan 1 meter dan 1,5 meter dengan pertimbangan efektifitas titik tengah tubuh dan area kepala manusia dalam merasakan kenyamanan termal. Titik-titik pengukuran dilakukan pada 9 titik dengan modul titik 3 baris dan 3 kolom. Posisi pengukuran terhadap bidang dinding yang diukur yaitu 3 titik pertama pada dinding papan semen partikel, 3 titik kedua pada dinding eksisting dan 3 titik ketiga pada posisi transisi diantara posisi pertama dan kedua. Waktu observasi lapangan dilakukan pada tanggal 15 November 2009, selama 1 hari pukul 06.00 hingga 18.00 WIB.



Gambar 3.5. Potongan koridor pada kedua jenis material pengamatan  
(Sumber: Peneliti, 2010)

Pada waktu yang sama diukur pula kecepatan angin dengan memakai anemometer digital pada ketinggian 1 meter.

Nilai absorpsivitas dari suatu permukaan mengacu pada bahan material dan warna cat. Pengamatan pada koridor mengindikasikan dinding eksisting terbuat dari batu bata berbalut spesi di cat dengan warna hijau.

Sedangkan dinding papan semen partikel yang terbuat dari campuran semen dan kayu sengon dengan warna natural material tersebut yakni abu-abu.

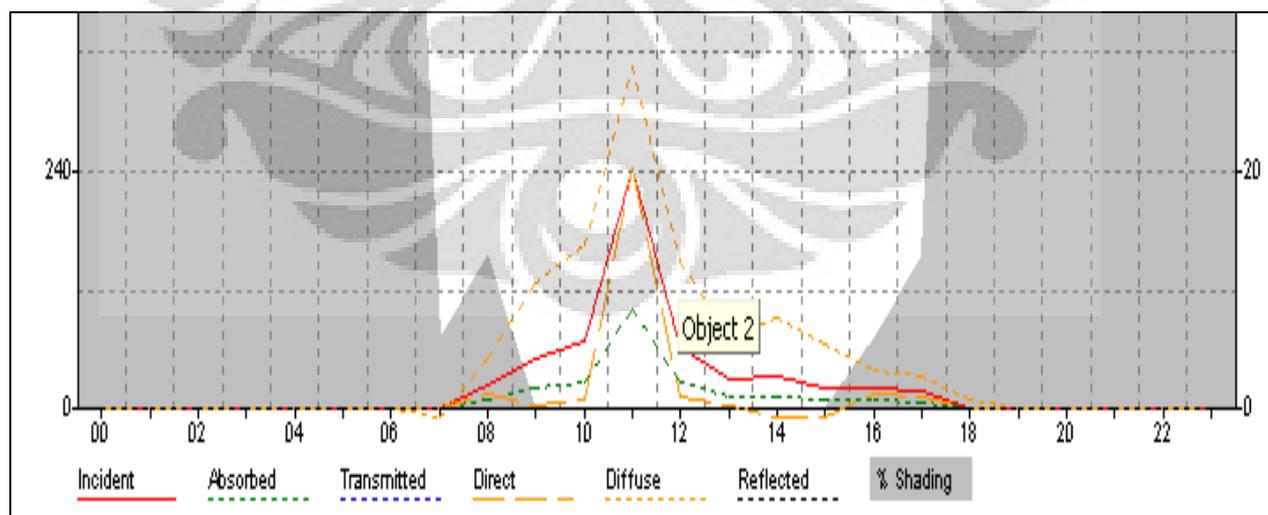


Gambar 3.6. Papan semen partikel  
(Sumber : Puskim Bandung, olahan peneliti, 2010)

### 3.5. Tabulasi Data

#### 3.5.1. Simulasi Insolasi

Dari data-data yang sudah dimasukkan ke dalam program *ecotect* maka akan didapat data *solar exposure* berbentuk grafik seperti gambar 3.7 di bawah ini.



Gambar 3.7. Diagram *solar exposure*  
(Sumber : Simulasi *ecotect* v5.6)

Pada grafik (gambar 3.7) di atas, terlihat bahwa item hasil pengukuran (*incident, absorbed, direct, dan diffuse*) menunjukkan tingkat yang paling tinggi pada jam 11.00 WIB. Untuk lebih jelasnya di rangkum dalam table 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3. Tabel *solar exposure*

### HOURLY SOLAR EXPOSURE

Yogyakarta, Indonesia

Object: 2 (30.000 m<sup>2</sup>) (Azi: -180.00 °, Alt: 0.00 °)

Date: 15th November

<i>HOURLY</i>	<i>BEAM</i> (W/m <sup>2</sup> )	<i>DIFFUSE</i> (W/m <sup>2</sup> )	<i>SUN</i> <i>ANGLE</i>	<i>INCIDENT</i> (W/m <sup>2</sup> )
800	15	52	70.12	25
900	3	129	68.28	53
1000	10	167	68.28	70
1100	242	345	64.53	242
1200	13	148	65.80	65
1300	3	75	63.26	31
1400	-6	92	64.53	34
1500	-8	65	65.17	23
1600	15	39	66.42	21
1700	12	35	68.28	18
<b>TOTAL</b>				<b>582</b>

(Sumber : Simulasi *ecotect v5.6*)

Dari tabel 3.3 di atas terlihat angka nominal dari masing-masing variasi nilai solar exposure yang terjadi di Yogyakarta pada tanggal 15 November 2009, mulai jam 08.00 pagi sampai dengan jam 17.00 sore hari. Dan tingkat *solar exposure* yang tertinggi terjadi pada jam 11.00 pagi.

#### 3.5.2. Pengukuran Suhu dan Kecepatan Angin

Hasil sampling pada 9 titik di lapangan pada tanggal 15 November 2009, setiap jamnya dari jam 06.00 hingga 18.00 WIB, dapat dilihat pada tabel 3.4, sebagai berikut:

Tabel 3.4. Hasil pengukuran tiap titik sampling

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>y-distance</i>	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
<i>x-distance</i>	0	0	0	2.4	2.4	2.4	4.8	4.8	4.8
<b>Ho</b>									
6	24.79	24.10	22.41	24.87	24.19	23.25	26.59	25.78	24.82
7	25.29	24.58	22.86	25.37	24.68	23.71	27.12	26.30	25.31
8	26.38	25.64	23.84	26.46	25.74	24.73	28.29	27.43	26.40
9	27.27	26.51	24.65	27.36	26.61	25.57	29.24	28.36	27.30
10	29.06	28.25	26.26	29.15	28.35	27.24	31.16	30.22	29.08
11	30.25	29.40	27.34	30.34	29.51	28.36	32.43	31.46	30.27
12	34.21	33.26	30.92	34.32	33.39	32.08	36.69	35.58	34.25
13	31.54	30.66	28.50	31.63	30.77	29.57	33.82	32.80	31.57
14	32.23	31.33	29.13	32.33	31.45	30.22	34.46	33.52	32.26
15	33.25	32.32	30.05	33.36	32.45	31.18	35.55	34.58	33.28
16	34.92	33.94	31.56	35.02	34.07	32.74	37.33	36.31	34.95
17	36.12	35.11	32.65	36.23	35.25	33.87	38.62	37.57	36.15
18	34.92	33.94	31.56	35.02	34.07	32.74	37.33	36.31	34.95

(Sumber: Peneliti, 2009)

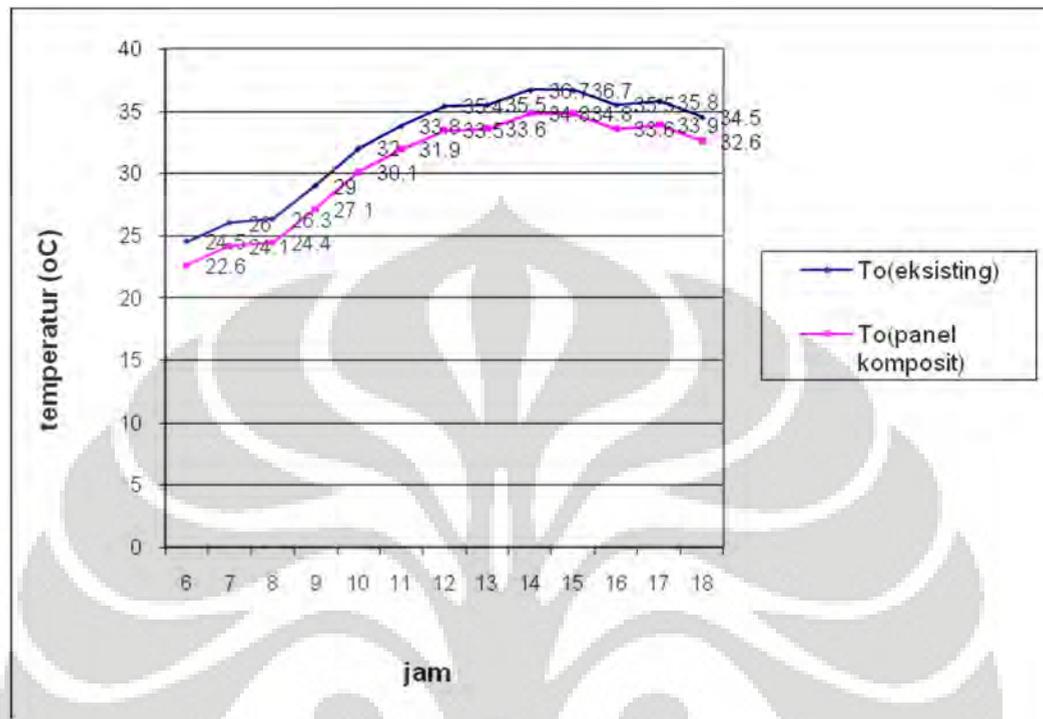
Kemudian apabila diambil hasil rata-rata pengukuran suhu luar (TO) di lapangan pada tanggal 15 November 2009, setiap jamnya dari jam 06.00 hingga 18.00 WIB, data akan terlihat seperti tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5. Tabel perbandingan suhu luar kedua jenis material

Ho (jam)	Wv (m/det)	To eksisting (°C)	To-papan semen partikel (°C)
6	0	24,5	22,6
7	0	26	24,1
8	0	26,3	24,4
9	0,5	29	27,1
10	0	32	30,1
11	1	33,8	31,9
12	0	35,4	33,5
13	2,5	35,5	33,6
14	3	36,7	34,8
15	2	36,7	34,8
16	1,5	35,5	33,6
17	0,85	35,8	33,9
18	0	34,5	32,6

(Sumber: Peneliti, 2009)

Dari tabulasi data pengukuran yang terdapat pada tabel 3.5, dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti terlihat pada gambar 3.8 di bawah ini.



ambar 3.8. Hasil Pengukuran Suhu TO untuk dinding eksisting dan papan semen partikel (Sumber: Peneliti, 2009)

### 3.5.3. Absorpsivitas

Dari pengamatan lapangan karena memakai dinding batu bata berwarna hijau medium maka didapat nilai absorpsivitasnya, untuk dinding eksisting sebagai berikut  $\alpha_w$  batu bata = 0,89,  $\alpha_p$  cat warna hijau medium = 0,59. Sedangkan untuk  $\alpha_w$  papan semen partikel = 0,61,  $\alpha_p$  cat warna abu-abu = 0,91.(Lampiran 3).

### 3.5.4. Konduktan Permukaan Luar

Konduktan permukaan luar batu bata adalah  $13,18 \text{ W/m}^2\text{C}$  pada kecepatan angin  $0 \text{ m/det}$ . Sedangkan konduktan permukaan luar papan semen partikel adalah  $25,84 \text{ W/m}^2\text{C}$ . Berdasarkan diagram  $f_o$  maka dapat dilihat perubahan nilai  $f_o$  berdasarkan perubahan kecepatan angin.

Tabel 3.6. Tabel perbandingan  $f_0$  kedua jenis material

Ho	Wv	$f_0$ batubata	$f_0$ papan semen partikel
6	1,1	17,03	29,69
7	1	16,68	29,34
8	0	13,18	25,84
9	1	16,68	29,34
10	1	16,68	29,34
11	1	16,68	29,34
12	1,1	17,03	29,69
13	2,75	22,81	35,47
14	2,6	22,28	34,94
15	0	13,18	25,84
16	0,5	14,93	27,59
17	0	13,18	25,84
18	0	13,18	25,84

(Sumber: Peneliti, 2009)

### 3.5.5. Pertimbangan Ekonomi

Metode untuk pemilihan suatu material berdasarkan nilai ekonomis dan kinerja thermal propertinya adalah metode perbaikan progresif, yakni berdasarkan nilai indeks kinerjanya. Nilai properti yang akan menjadi variabel perhitungan adalah nilai resistensi, yang didapat dari variabel lebar material per nilai konduktivitasnya.

Nilai Resistensi dinding batu bata merupakan akumulasi material batu bata dengan plester. Dengan ketebalan (w) bata 10 cm dan plester 5 cm dan nilai konduktivitasnya ( $k$  batu bata = 1,210 W/m °C;  $k$  plester = 0,90 W/m °C), maka akan didapat nilai resistensi dindingnya.

$$R = w / k \dots\dots\dots(3.1)$$

$$R_{\text{batubata}} = 0,10 / 1,210 = 0,124 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{plester}} = 0,05 / 0,9 = 0,055 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

$$R_{\text{dinding batubata}} = 0,124 + 0,055 = 0,179 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Sementara nilai resistensi papan semen partikel dengan ketebalan 2 cm dan nilai konduktivitas 0,0037 W/m °C, adalah :

$$R_{\text{papan semen partikel}} = 0,02 / 0,0037 = 5,4 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Bila keduanya digabung (dinding batu bata dan papan semen partikel), maka akan didapat nilai resistensi sebagai berikut :

$$R_{\text{gabung}} = 0,179 + 5,4 = 5,579 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Pertimbangan ekonomi terhadap pemakaian kedua jenis material, yakni dinding batu bata dan papan semen partikel, dan gabungan keduanya dapat dilihat dari tabel di bawah ini, yang didasarkan pada perhitungan indeks perkiraan asumsi harga material bangunan. Perhitungan harga bahan didasarkan pada analisis yang terdapat pada tabel 3.7 sampai tabel 3.10, sebagai berikut:

Tabel 3.7. Tabel hasil perhitungan pekerjaan dinding batu bata

No.	Pasangan Batu Merah (m <sup>2</sup> ) 1:3	Satuan	Koefisien	Harga Rp.	Harga x Koefisien Rp.	Biaya Kerja Rp.	Jumlah Rp.
1.	Tukang Batu	org	0,214	40.000,00	8.560,00		
2.	Kepala Tukang Batu	org	0,021	45.000,00	945,00		
3.	Pekerja	org	0,429	30.000,00	8.580,00		
4.	Mandor	org	0,011	50.000,00	550,00		
5.	Batu bata	bh	70.000	413,00		28.910,00	
6.	PC (50kg)	zak	0,420	46.000,00		19.320,00	
7.	Pasir	m <sup>3</sup>	0,054	145.000,00		7.830,00	
	<b>Total</b>				<b>22.925,00</b>	<b>56.060,00</b>	<b>78.985,00</b>

(Sumber: Anonim, olahan peneliti, 2010)

Tabel 3.8. Tabel hasil perhitungan pekerjaan plester dan acian

No.	Plester dan Acian (m <sup>2</sup> ) 1:3	Satuan	Koefisien	Harga Rp.	Harga x Koefisien Rp.	Biaya Kerja Rp.	Jumlah Rp.
1.	Tukang Batu	org	0,214	40.000,00	8.560,00		
2.	Kepala Tukang Batu	org	0,021	45.000,00	945,00		
3.	Pekerja	org	0,286	30.000,00	12.870,00		
4.	Mandor	org	0,020	50.000,00	1.000,00	7.360,00	
5.	PC (50kg)	zak	0,160	46.000,00	7.360,00	2.813,00	
6.	Pasir	m <sup>3</sup>	0,019	145.000,00	2.813,00	7.830,00	
	<b>Total</b>				<b>29.258,00</b>	<b>10.173,00</b>	<b>39.431,00</b>

(Sumber: Anonim, olahan peneliti, 2010)

Tabel 3.9. Tabel hasil perhitungan pekerjaan pengecatan

No.	Pengecatan Dinding (m <sup>2</sup> )	Satuan	Koefisien	Harga Rp.	Harga x Koefisien Rp.	Biaya Kerja Rp.	Jumlah Rp.
1.	Pekerja	org	0,104	30.000,00	3.120,00	2.275,00	
2.	Tukang cat	org	0,182	40.000,00	7.280,00	2.880,00	
3.	Kepala Tukang	org	0,020	45.000,00	877,50	150,00	
4.	Mandor	org	0,10	50.000,00	500,00	1.500,00	
5.	Cat tembok	kg	0,175	13.000,00	7.360,00		
6.	Plameur tembok	kg	0,160	18.000,00	2.813,00		
7.	Rol cat	bh	0,010	15.000,00	29.258,00		
8.	Amplas kayu	lbr	0,500	3.000,00	8.560,00		
	<b>Total</b>				<b>11.777,50</b>	<b>6.805,00</b>	<b>18.582,50</b>
				<b>Total Pekerjaan Dinding</b>			<b>195.012,00</b>

(Sumber: Anonim, olahan peneliti, 2010)

Dari hasil perhitungan pekerjaan dinding dengan material batu bata didapatkan nilai harga per meter persegi, yaitu: pekerjaan pemasangan bata merah Rp. 78.985, pekerjaan plesteran Rp. 39.43, pekerjaan pengecatan Rp. 18.582,5. Sehingga total nilai harga per meter persegi dari pekerjaan dinding bata merah adalah Rp. 195.012.

Sementara pekerjaan dinding dengan papan semen partikel sebagai lapisan eksteriornya, di perhitungakan berdasarkan harga panel papan komposit semen kayu sengan didasarkan pada harga produksi laboratorium. Kemudian di analisa dengan asumsi sebagai pekerjaan cladding. Untuk analisis perhitungannya terdapat pada tabel 3.7, sebagai berikut:

Tabel 3.10. Tabel perhitungan pekerjaan papan semen partikel (mengacu pada analisis pekerjaan *cladding*)

No.	Pengecatan Dinding (m <sup>2</sup> )	Satuan	Koefisien	Harga	Harga x Koefisien	Biaya Kerja	Jumlah
1.	Tukang	org	0,500	40.000,00	20.000,00		
2.	Kepala tukang	org	0,500	45.000,00	22.500,00		
3.	Mandor	org	0,200	50.000,00	10.000,00		
4.	Papan Semen Partikel	m <sup>2</sup>	1.000	15.120,00		15.120,00	
5.	Mur baut	ls	1.000	10.000,00		10.000,00	
	<b>Total</b>				<b>52.500,00</b>	<b>25.120,00</b>	<b>77.620,00</b>

(Sumber: Anonim, olahan peneliti, 2010)

Kemudian apabila nilai harga pekerjaan dinding bata merah tersebut dibandingkan dengan nilai pekerjaan papan semen partikel (asumsi harga berdasarkan harga laboratorium) didapatkan sebagaimana tercantum dalam tabel 3.11.

Selanjutnya dalam pertimbangan ekonomi perhitungan masing-masing pekerjaan dibandingkan. Perbandingan yang dilakukan dengan melihat total harga pekerjaan dibanding dengan nilai indeks masing-masing jenis pekerjaan. Untuk nilai indeks tersebut didapatkan dari perhitungan jumlah nilai resistensi material seperti pada bahasan perhitungan sebelumnya.

Tabel 3.11. Hasil perhitungan indeks kinerja material dinding batu bata dan papan semen partikel

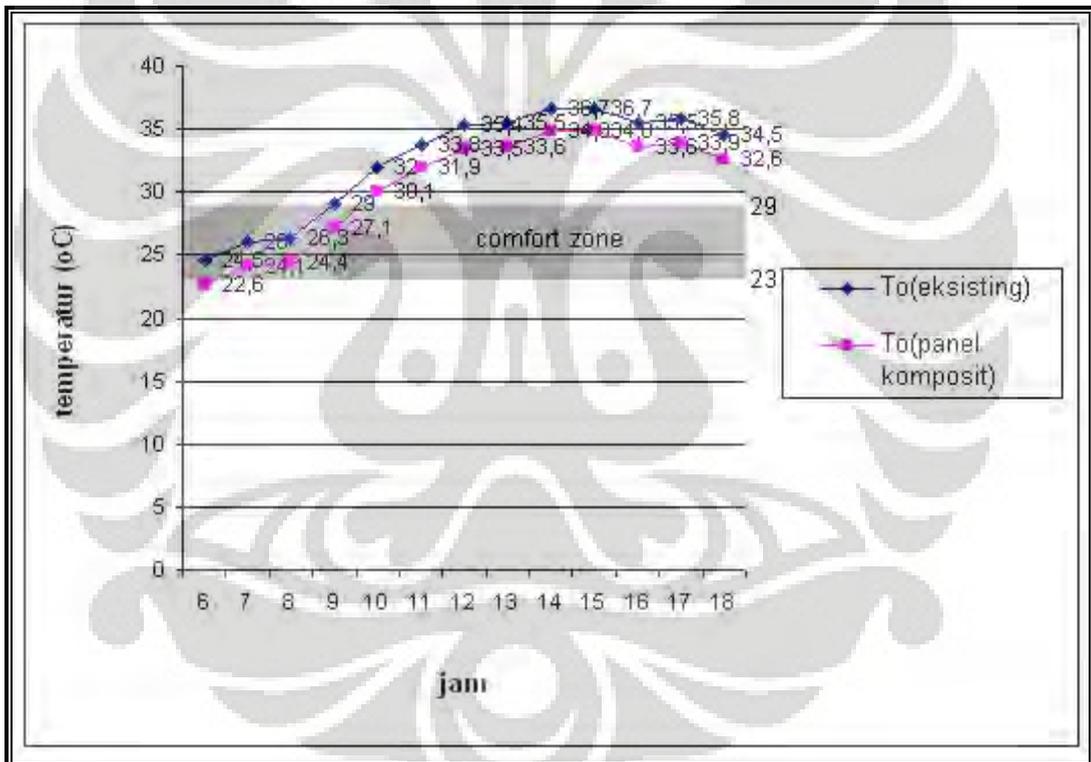
Material	Harga (p/m <sup>2</sup> )	R=w/k	Indeks (p/R)
Dinding batu bata	195.012,00	0,179	1.089.452
Papan semen partikel	77.600,00	5,4	14.370
Gabungan keduanya	272.612,00	5,579	48.864

(Sumber: Anonim, olahan peneliti, 2010)

## BAB IV ANALISIS DATA

Berdasarkan hasil observasi dan perhitungan masing-masing variabel diketahui data nilainya, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis terhadap data-data tersebut. Data suhu luar dari kedua jenis dinding dibandingkan dengan persyaratan kenyamanan termal, variabel temperatur luar (TO), *Insolation* (I), absorpsivitas (*a*), dan konduktan permukaan luar ( $f_o$ ) dari masing-masing material.

### 4.1. Selisih perbedaan TO eksisting dengan TO papan semen partikel



Gambar 4.1. Diagram hubungan antara pengukuran suhu dengan zona kenyamanan termal (Sumber: Peneliti, 2010)

Seperti yang digambarkan pada Gambar 4.1 di atas, terlihat hasil observasi dan perhitungan. Selisih perbedaan suhu antara dinding eksisting batu bata dengan dinding papan semen partikel adalah 1,906 °C. Zona kenyamanan termal berada pada kisaran 23 °C – 29 °C. Dengan demikian, bila menggunakan dinding

eksisting, temperatur yang melebihi temperatur nyaman dimulai pada jam 09.30 WIB. Sementara bila menggunakan papan semen partikel batas kenyamanan termal akan terlewati pada jam 11.00 WIB.

Ukuran efektifitas penerapan material sebagai regulator suhu koridor ditentukan oleh (a). rentang nilai-suhu ( $\Delta T$ ) yang dapat direduksi, serta (b). persentase waktu yang berada dalam rentang *thermal comfort*. Semakin besar penurunan suhu yang dihasilkan akan memperbesar persentase waktu pada rentang *thermal comfort*. Kedua hal ini merupakan dasar dari konservasi energi yang akan mendukung upaya mitigasi *climate change*. Secara umum, rentang suhu-harian rata-rata antara nilai minimum ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dengan nilai maksimum ( $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) di Indonesia berkisar  $6\text{ degC}$ .<sup>42</sup> Reduksi nilai suhu maksimum ( $31\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ke level  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$  membutuhkan pengurangan sebesar  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , apabila dibandingkan dengan kemampuan reduksi sebesar  $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) oleh material papan semen partikel maka hal ini sudah yang sangat berperan dalam memberi solusi penurunan suhu udara luar.

Secara khusus, pada kasus Malioboro maka material papan semen partikel menghasilkan  $\Delta T = 1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  serta meningkatkan rentang *thermal comfort* menjadi 5 jam (42% suhu harian) atau meningkat 12,8% dari kinerja material dinding batu bata (3,5 jam atau 29,2% suhu harian). Hal ini tentu akan mereduksi penggunaan listrik sebesar 17,65% dari pola yang dihasilkan material batu bata sehingga terjadi penghematan yang mendukung mitigasi *climate change*. Terkait dengan penurunan suhu udara pada jam 13.00 WIB ( $32,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), untuk itu kondisi ini harus dikurangi sebesar  $3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , agar masuk ke rentang nyaman ( $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Papan semen partikel baru mampu mereduksi sebesar  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ke tingkat  $30,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Namun hal ini merupakan 68% pencapaian menuju kondisi ideal, yang berarti cukup berarti (lebih dari 50%) dalam mereduksi suhu luar.

---

<sup>42</sup> Mas Santosa, 2000, *Arsitektur Surya, Sebuah Fenomena Spesifik untuk Daerah Tropis Lembab*, Surabaya: U.K. Petra.

#### 4.2. Selisih perbedaan $T$ -solair eksisting dengan $T$ -solair papan semen partikel

Variabel-variabel yang mempengaruhi nilai  $T$ -solair, yakni temperatur luar (TO), *Insolation* (I), absorpsivitas ( $a$ ), dan konduktan permukaan luar ( $f_o$ ) dimasukkan ke dalam rumus  $T$ -solair (lampiran 4), sehingga diperoleh nilai  $T$ -solair seperti di bawah ini.

Tabel 4.1. Tabel perbandingan  $T$ -solair kedua jenis material

Ho	$T_s$ dgd eksisting °C	$T_s$ papan semen partikel °C	Selisih suhu °C
6	25,00	23,10	1,90
7	26,49	24,17	2,32
8	30,58	26,76	3,83
9	33,38	28,99	4,38
10	38,76	32,87	5,90
11	41,76	35,10	6,66
12	45,39	38,95	6,44
13	40,53	35,62	4,91
14	41,14	36,21	4,93
15	47,58	38,39	9,19
16	41,68	35,19	6,49
17	30,00	28,10	1,90
18	29,00	27,10	1,90

(Sumber: Peneliti, 2010)

Berdasarkan hasil perhitungan  $T$ -solair kedua jenis material dapat terlihat bahwa suhu permukaan papan semen partikel memiliki angka lebih rendah dibandingkan suhu permukaan dinding eksisting, dengan selisih yang *fluktuatif* antara 1,9 °C (jam 06.00, 17.00 dan 18.00 WIB) hingga 9,19 °C (jam 15.00 WIB).

### 4.3. Perbandingan efektifitas reduksi suhu antara posisi material papan semen partikel sebagai dinding dengan posisi sebagai atap

Perbandingan efektifitas ini dilakukan melalui simulasi terhadap koridor, yakni pada skenario yang menempatkan papan semen partikel sebagai (a). dinding di sepanjang koridor, dan (b). sebagai atap di sepanjang koridor. Nilai-nilai yang diperbandingkan ialah nilai rerata suhu luar (*average value*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada rentang jam 06.00 - 18.00 WIB, rerata suhu luar yang dimunculkan oleh posisi papan semen partikel sebagai dinding jauh lebih baik ketimbang papan semen partikel sebagai atap.

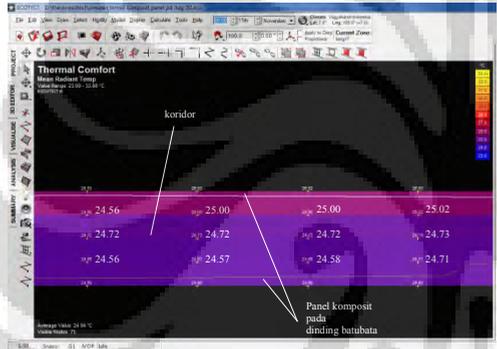
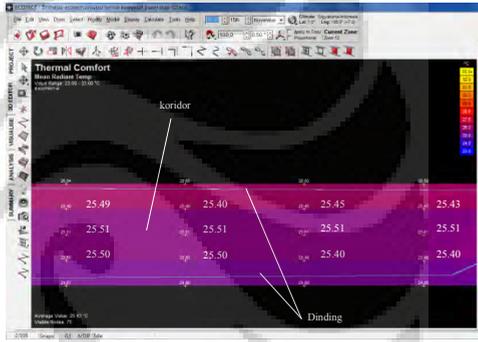
Tabel 4.2. Tabel hasil perhitungan rerata simulasi perbandingan papan semen partikel untuk dinding dan atap

Ho	Papan semen partikel sebagai dinding (°C)	Papan semen partikel sebagai atap (°C)
06.00	24.94	25.43
07.00	24.58	25.32
08.00	24.90	25.40
09.00	24.79	25.31
10.00	24.96	25.43
11.00	25.28	25.88
12.00	25.52	25.88
13.00	25.48	25.87
14.00	28.10	28.23
15.00	25.47	25.92
16.00	25.41	25.89
17.00	26.55	27.57
18.00	24.93	25.27

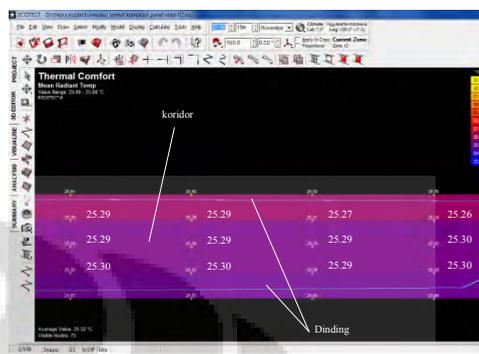
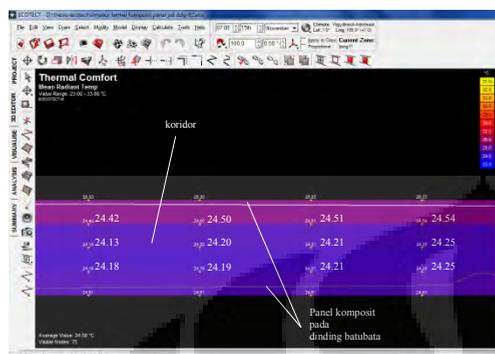
(Sumber: Peneliti, 2010)

Di sini terlihat suhu terendah apabila papan semen partikel dijadikan atap di sepanjang koridor adalah 25,31°C pada pukul 09.00 WIB. Sedangkan pada saat yang sama terjadi temperatur 24,79 °C atau selisih 0,52 °C lebih rendah untuk papan semen partikel yang dipasang sebagai dinding koridor. Sedangkan

temperatur tertinggi ketika papan semen partikel sebagai dinding terjadi pada pukul 14.00 WIB, yaitu 28,10 °C. Dan pada saat yang sama ketika papan semen partikel sebagai atap temperaturnya adalah 28,23 °C. Jadi selisih temperatur yang ditimbulkan adalah 0,13 °C. Untuk gambaran lebih jelasnya fluktuasi temperatur yang terjadi dapat dilihat seperti hasil simulasi *ecotect* pada gambar 4.2.

Panel komposit papan semen partikel sebagai dinding	Panel komposit papan semen partikel sebagai atap
Jam 06.00	
	
<p>Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara 24,00°C-25,53°C</p>	<p>Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara 24,00°C-26,04°C</p>

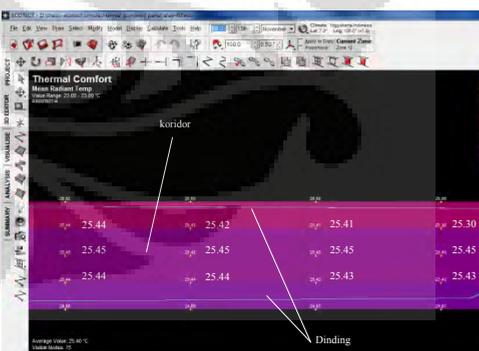
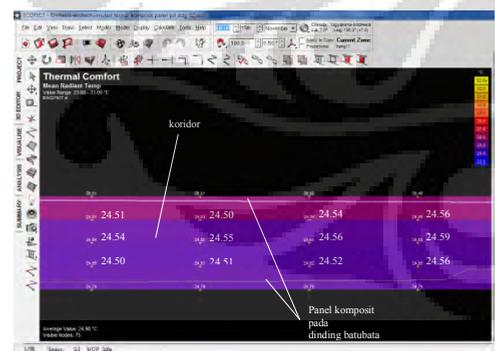
Jam 07.00



Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara 24,01°C-25,30°C

Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara 24,55°C-26,04°C

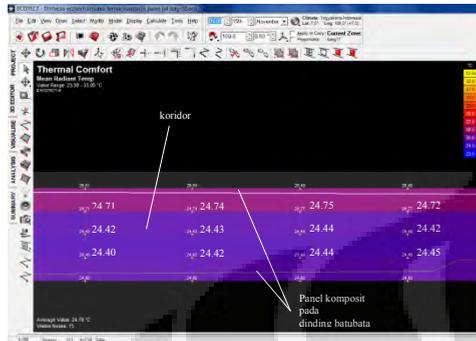
Jam 08.00



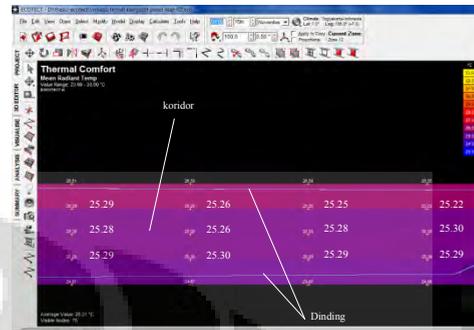
Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara 24,00°C-25,51°C

Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara 24,80°C-25,62°C

Jam 09.00

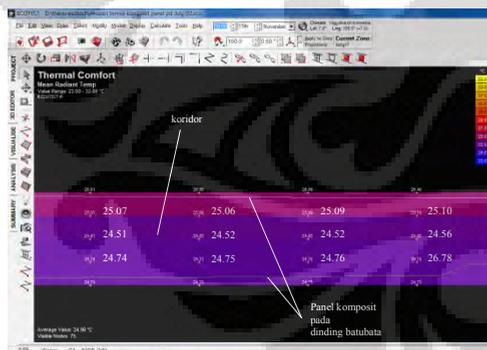


Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara  $24,00^{\circ}\text{C}$ - $26,51^{\circ}\text{C}$

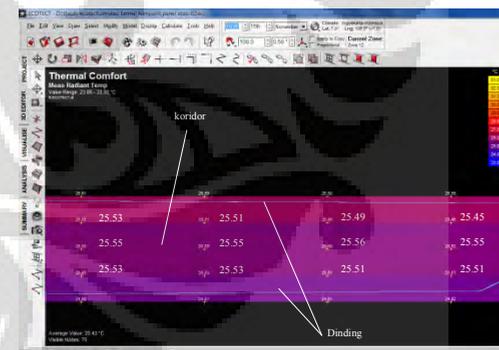


Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara  $24,55^{\circ}\text{C}$ - $26,61^{\circ}\text{C}$

Jam 10.00

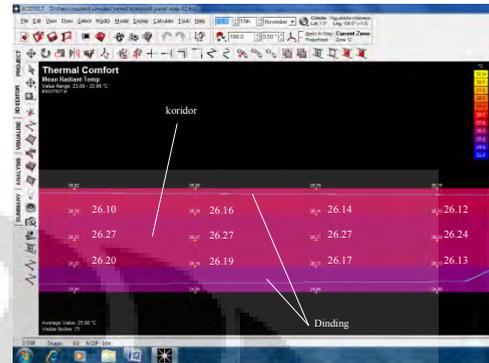
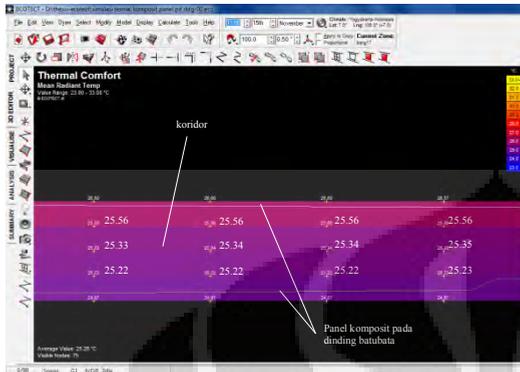


Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara  $24,51^{\circ}\text{C}$ - $26,51^{\circ}\text{C}$



Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara  $24,90^{\circ}\text{C}$ - $26,59^{\circ}\text{C}$

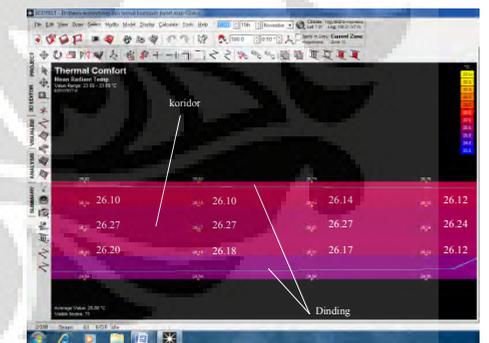
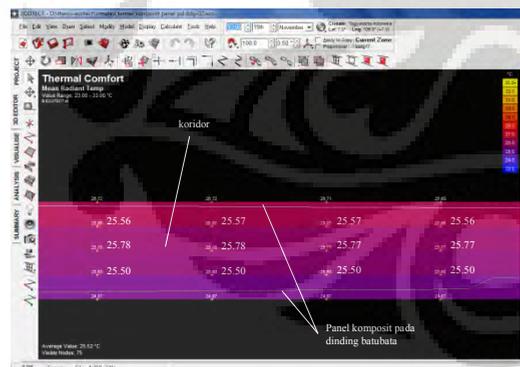
Jam 11.00



Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara 24,57°C-26,60°C

Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara 24,94°C-26,79°C

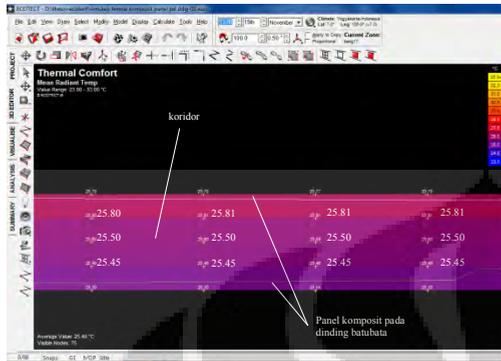
Jam 12.00



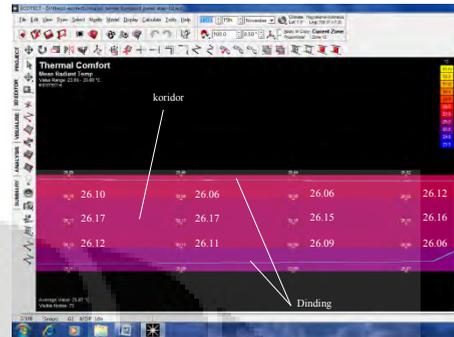
Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara 24,57°C-26,72°C

Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara 24,94°C-26,79°C

Jam 13.00

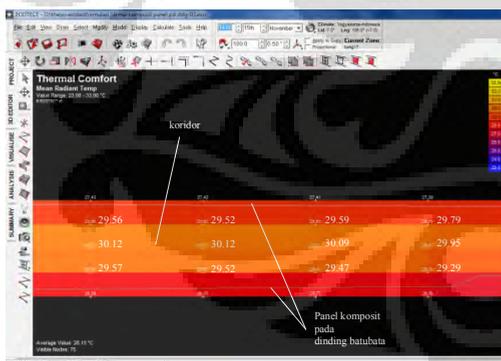


Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara  $24,59^{\circ}\text{C}$ - $26,77^{\circ}\text{C}$

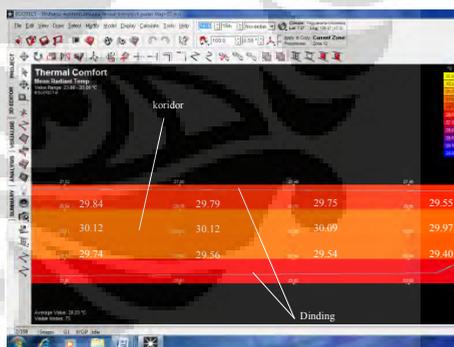


Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara  $25,05^{\circ}\text{C}$ - $26,84^{\circ}\text{C}$

Jam 14.00

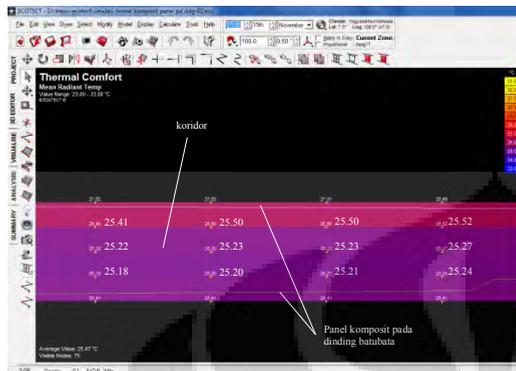


Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara  $25,78^{\circ}\text{C}$ - $30,12^{\circ}\text{C}$

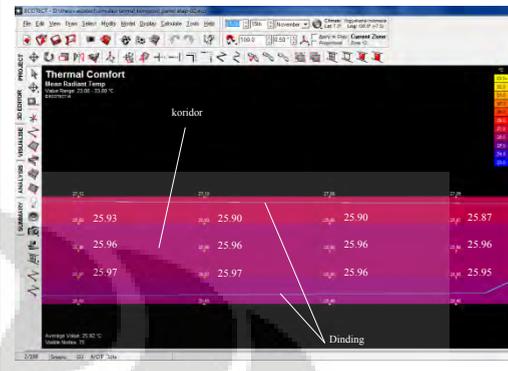


Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara  $25,82^{\circ}\text{C}$ - $30,12^{\circ}\text{C}$

Jam 15.00

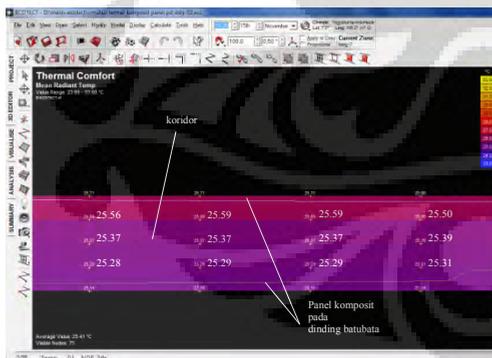


Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara  $25,41^{\circ}\text{C}$ - $27,02^{\circ}\text{C}$

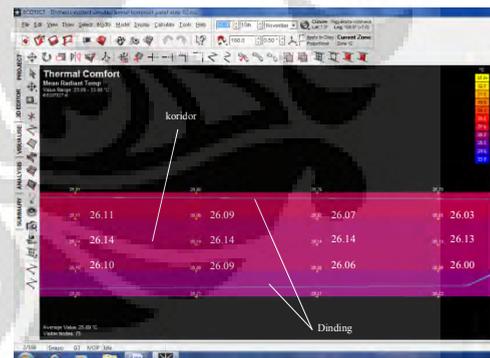


Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara  $25,45^{\circ}\text{C}$ - $27,12^{\circ}\text{C}$

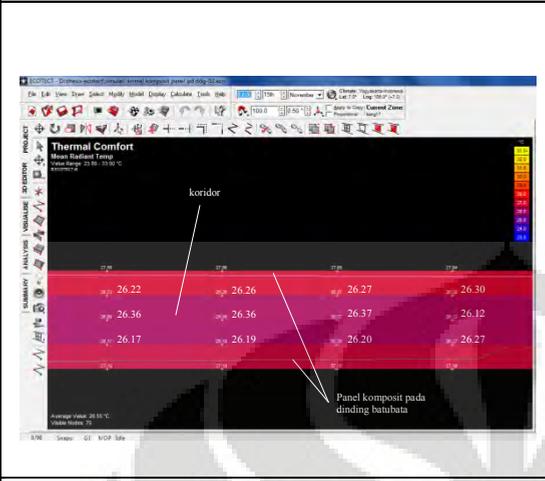
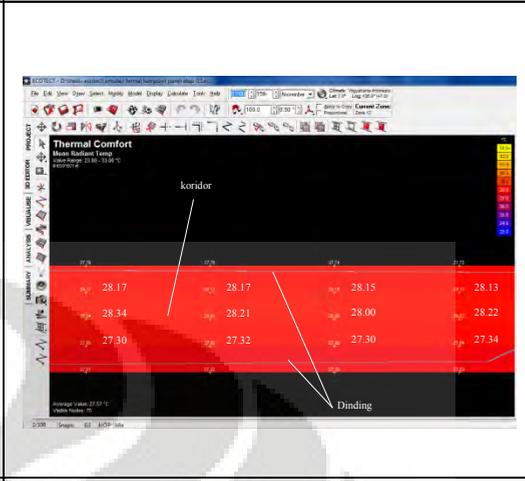
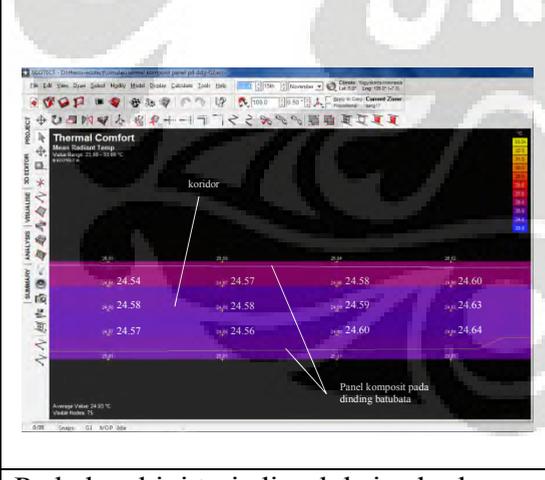
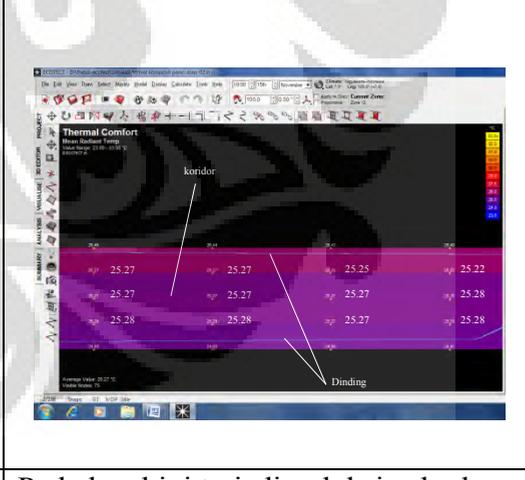
Jam 16.00



Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara  $25,14^{\circ}\text{C}$ - $26,71^{\circ}\text{C}$



Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara  $25,20^{\circ}\text{C}$ - $26,81^{\circ}\text{C}$

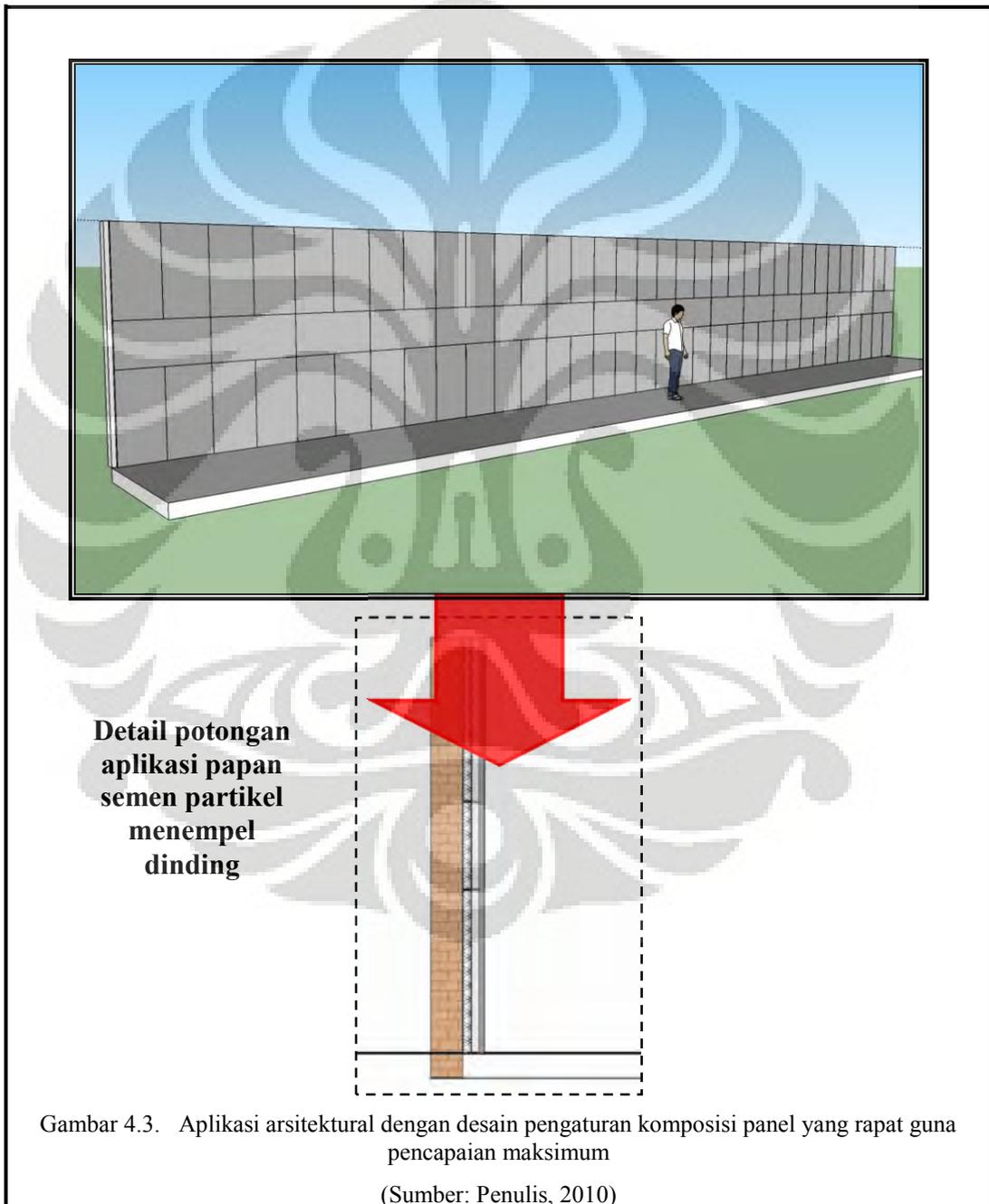
Jam 17.00	
	
<p>Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara 26,00°C-27,65°C</p>	<p>Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara 26,00°C-27,72°C</p>
Jam 18.00	
	
<p>Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai dinding antara 24,58°C-26,62°C</p>	<p>Pada level ini terjadi reduksi suhu luar pada koridor yang menggunakan papan semen partikel sebagai atap antara 24,59°C-26,49°C</p>

Gambar 4.2. Simulasi perbandingan suhu luar berdasarkan posisi panel semen partikel (Sumber: Simulasi *ecotect* v5.6 , 2010)

#### 4.4. Aplikasi arsitektural.

##### 4.4.1. Panel menempel datar pada dinding

Penerapan arsitektural dari dinding papan semen partikel didasarkan pada optimalisasi komposisi pengaturan jarak antar panelnya sehingga mencapai suhu TO yang optimal. Bila pencapaian maksimum yang diperlukan maka komposisi panel harus rapat, namun secara arsitektural akan menghasilkan komposisi yang monoton, terlihat pada gambar 4.3.



Komposisi yang tidak monoton didasarkan pada pemberian jarak antar dinding papan semen partikel. Berdasarkan hasil pengukuran temperatur luar di koridor, seperti yang terlihat pada tabel 3.4. Misalnya pada jam 14.00 WIB, jarak  $x = 0 \text{ m}$  ;  $y = 1 \text{ m}$  menghasilkan suhu  $34,21 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , jarak  $x = 2,4 \text{ m}$  ;  $y = 1 \text{ m}$  menghasilkan suhu  $34,32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan jarak  $x = 4,8 \text{ m}$  ;  $y = 1 \text{ m}$  menghasilkan suhu  $35,55 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Maka antara tepi panel hingga jarak  $2,4 \text{ m}$  ( $x = 4,8 \text{ m}$ ) terdapat kenaikan suhu  $1,23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Dengan demikian apabila rentang kenaikan suhunya direncanakan di bawah  $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , maka jarak antar panel (papan semen partikel) harus berada pada ( $2,4 \text{ m} : 1,23 \text{ }^{\circ}\text{C} = 1,95 \text{ m}$ ). Beberapa contoh aplikasi arsitektural yang dibuat penulis dapat dilihat pada gambar 4.4, dengan jarak antar komposisi panel  $1 \text{ m}$ .



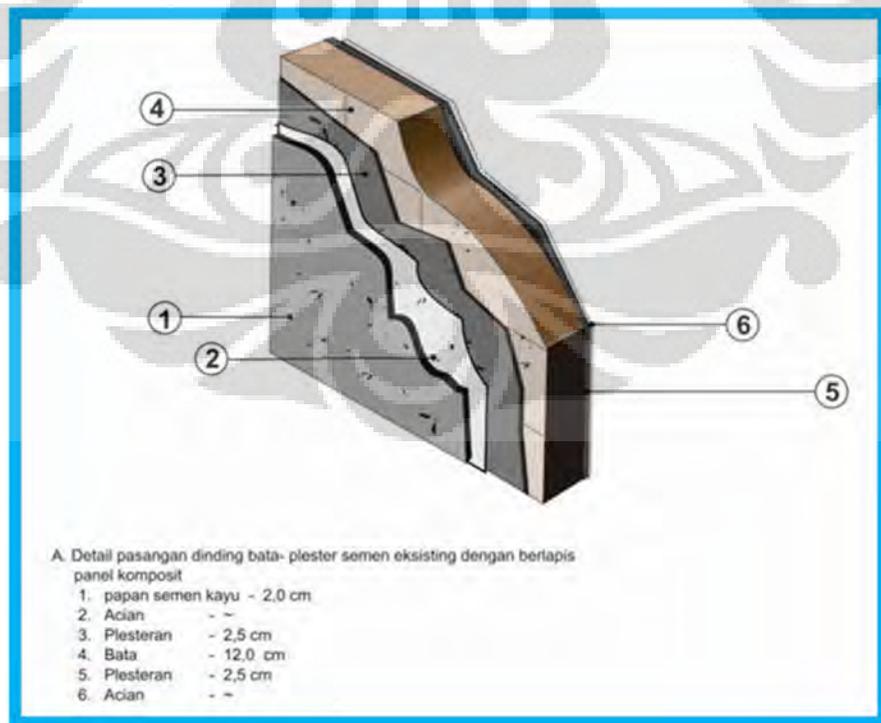
Gambar 4.4. Aplikasi arsitektural dengan desain pengaturan komposisi jarak antar panel  
(Sumber: Penulis, 2010)

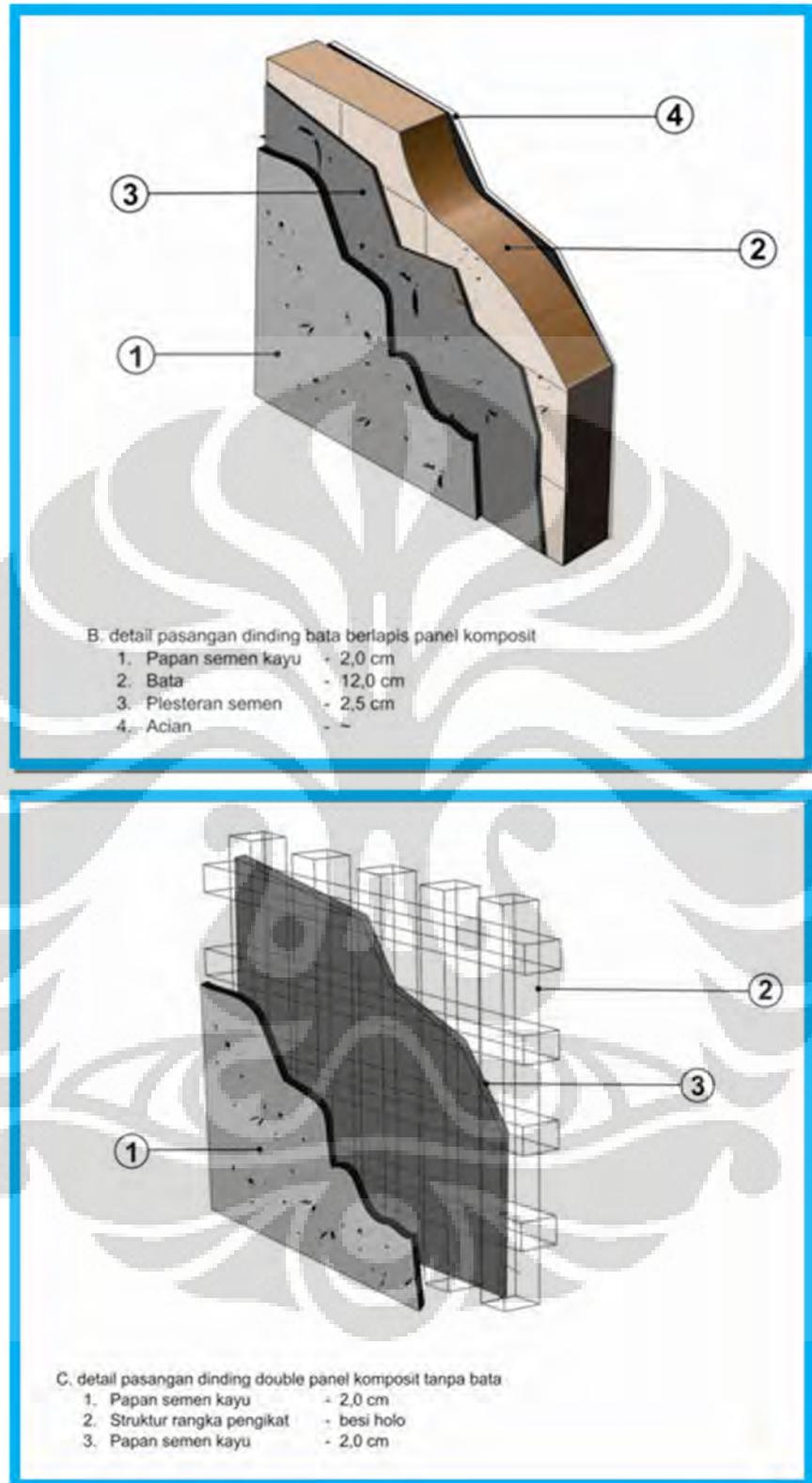
Koridor yang tidak semuanya dinding, misalnya terdapat pintu dan jendela, maka diperlukan komposisi yang bersifat transisi agar terjadi kesinambungan seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Aplikasi arsitektural dengan desain pengaturan komposisi transisi  
(Sumber: Penulis, 2010)

Sebagai bentuk dari variasi suunan lapis per lapis dinding batu bata yang ditambah dengan panel papan partikel dapat di desain dalam beberapa model. Pada gambar 4.6 di bawah ini terlihat detail potongan model tersebut, yang kemudian dapat dijadikan sebagai acuan desain aplikasi arsitektur.



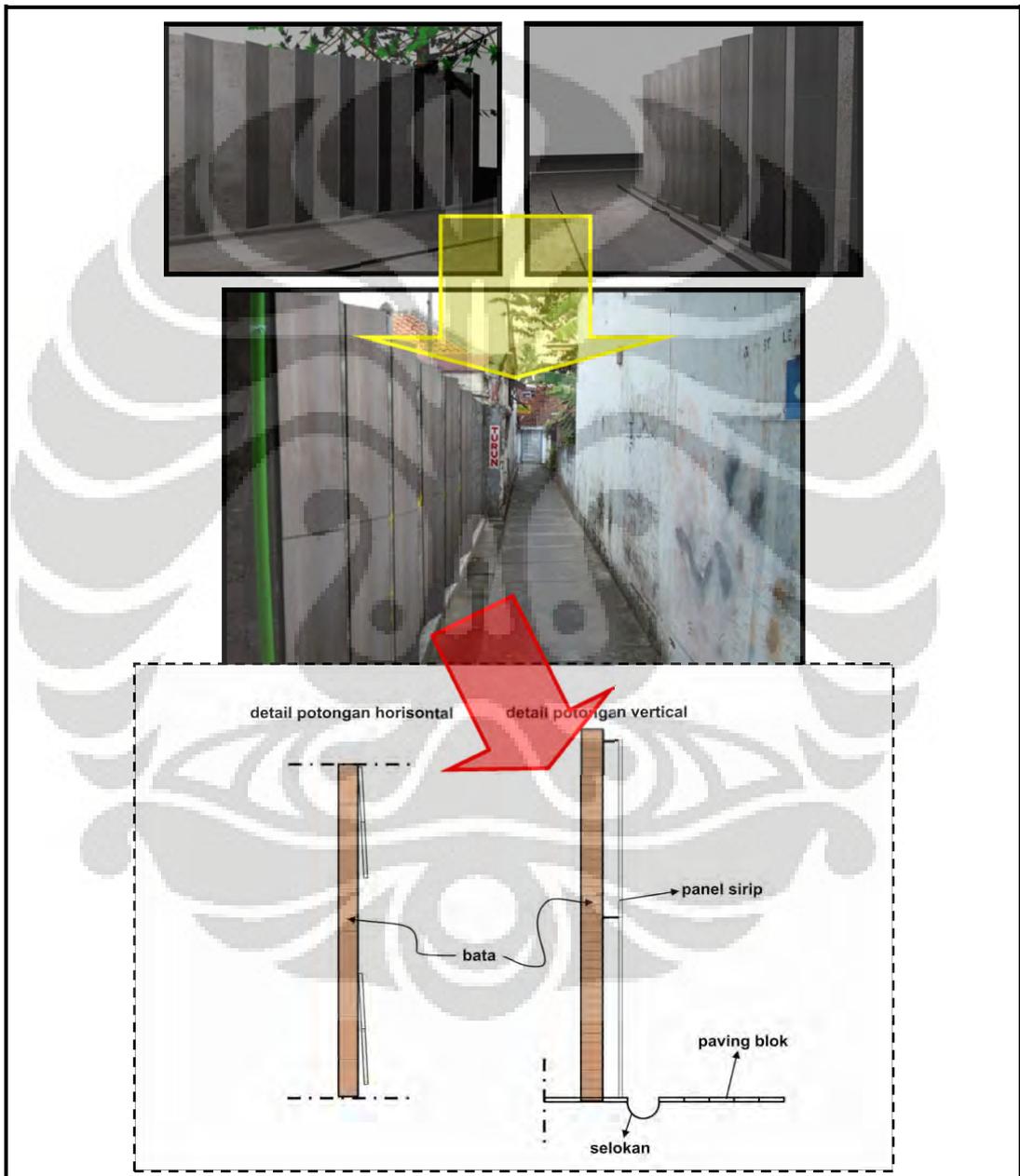


Gambar 4.6. Detail aplikasi arsitektural lapis per-lapis dinding batu bata dengan papan semen partikel (a, b, c)

(Sumber: Penulis, 2010)

#### 4.4.2. Panel membentuk pola sirip terhadap dinding.

Untuk dapat menampilkan kesan tidak monoton, maka dapat dilakukan pemasangan panel papan semen partikel dengan letak bersusun seperti sirip. Dengan demikian fungsi panel yg tetap menutupi dinding akan tetapi tidak mengurangi lebar jalan. Beberapa contoh alternatif penerapan arsitektur tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 4.7. Dinding sirip dengan pemasangan papan semen partikel

(Sumber: Penulis, 2010)

Beberapa lokasi dinding eksisting yang dapat dipasang panel papan semen partikel dengan posisi sirip. Panel dipasang tidak mengurangi lebar jalan, sehingga perletakan dapat dilakukan di atas selokan kecil yang ada di kanan atau kiri jalan.

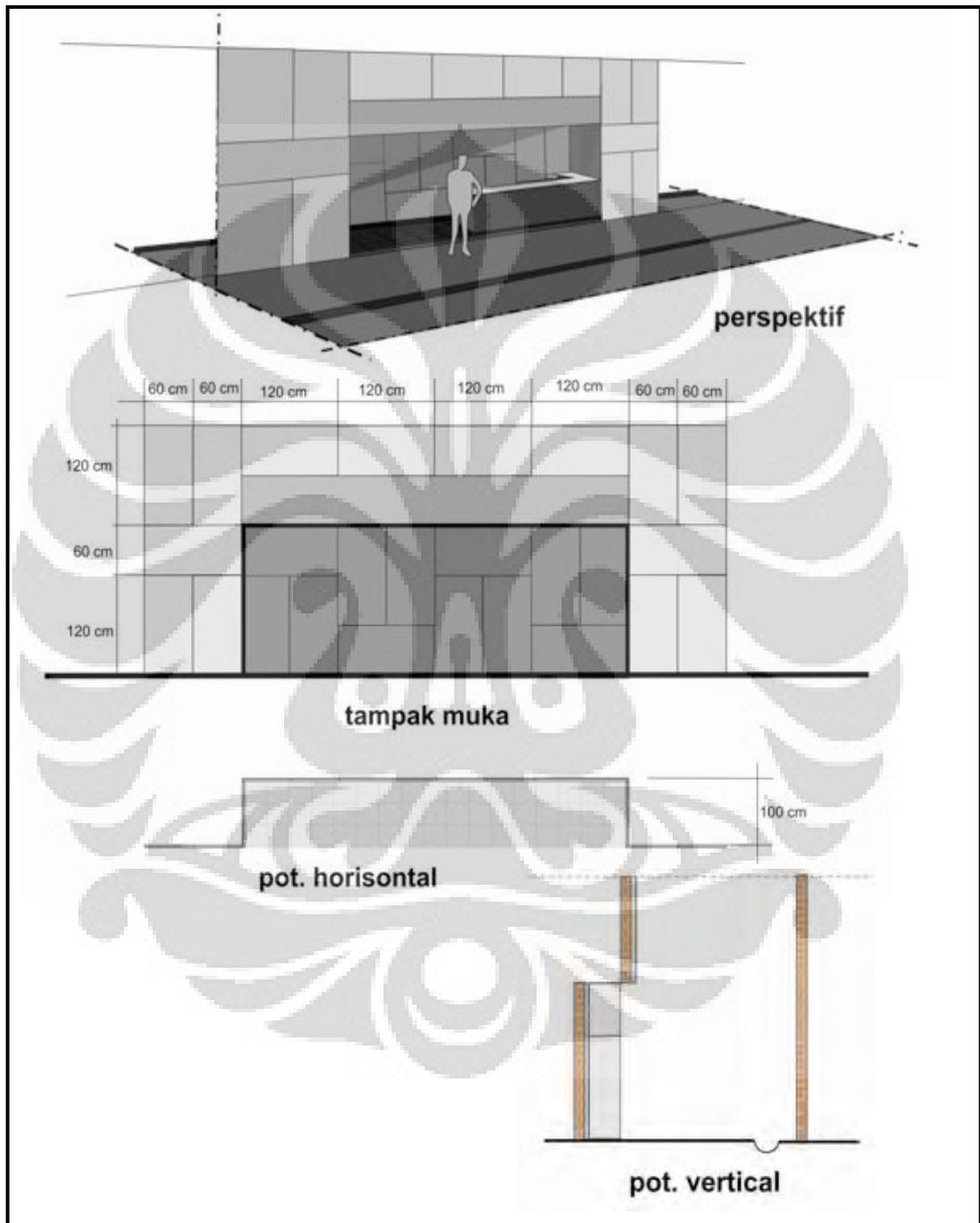


Gambar 4.8. Alternatif aplikasi arsitektural beberapa tempat yang dapat dipasang papan semen partikel model sirip, koridor (a, b, c, d, e, f)  
(Sumber: Penulis, 2010)

#### 4.4.3. Aplikasi papan semen partikel pada ruang komersial.

Dalam pelaksanaannya pemasangan dan pengadaan papan semen partikel membutuhkan biaya. Salah satu cara untuk memudahkan dalam realisasinya pada

koridor lingkungan, pemasangan papan semen partikel dapat di usulkan pada pihak yang akan menggunakan lahan koridor sebagai tempat usaha. Dalam pemasangan dan aplikasinya dapat dilihat seperti gambar 4.8 di bawah ini:



Gambar 4.9. Aplikasi arsitektural papan semen partikel pada ruang tempat usaha komersial (Sumber: Penulis, 2010)

#### 4.5. Perbandingan efektifitas reduksi suhu material papan semen partikel sebagai dinding di sisi Barat dan Timur

Perbandingan efektifitas ini dilakukan melalui simulasi terhadap koridor, yakni pada skenario yang menempatkan papan semen partikel pada koridor yang membujur Utara-Selatan: (a) Dinding di sisi Timur koridor dan (b) Dinding di sisi Barat koridor. Nilai-nilai yang diperbandingkan ialah nilai rerata suhu luar (average value). Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada rentang jam 06.00-18.00 WIB, rerata suhu luar yang dimunculkan oleh posisi papan semen partikel sebagai dinding jauh lebih baik ketimbang dinding bata.

Karena pada situasi dinding membujur Utara-Selatan tidak disinari secara penuh selama rentang waktu matahari jam 06.00-18.00, sehingga radiasi pancaran matahari mengenai dinding Barat terjadi pada sebelum jam 12.00, sebaliknya untuk dinding Timur terjadi pada setelah jam 12.00.

Tabel 4.3. Tabel hasil perhitungan rerata simulasi perbandingan koridor membujur Utara-Selatan

Ho	Papan semen partikel sebagai dinding eksperimen	Dinding transisi	Batu bata sebagai dinding eksisting
06.00	25.50	26.30	26.65
07.00	25.41	25.82	26.61
08.00	25.45	26.10	26.63
09.00	25.45	26.07	26.60
10.00	25.55	26.13	26.77
11.00	25.64	26.47	27.04
12.00	25.94	26.63	27.78
13.00	25.89	26.75	27.22
14.00	28.63	29.12	29.85
15.00	26.07	26.75	27.30
16.00	25.87	26.57	27.21
17.00	26.70	27.30	27.87
18.00	25.55	26.32	26.80

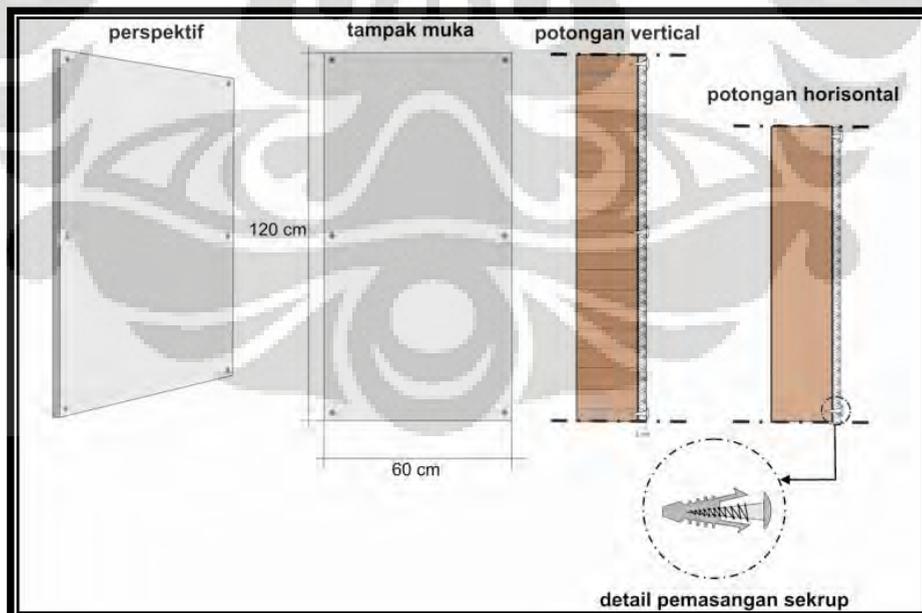
(Sumber: Penulis, 2010)

Pada waktu matahari berada pada posisi jam 14.00 WIB terlihat suhu koridor berada pada level tertinggi pada dinding dengan papan semen partikel yaitu 28,63 °C. Sedangkan pada dinding eksisting suhu koridor 29,85 °C dan pada posisi transisi diantaranya suhu koridor 29,12. Jadi terdapat perbedaan suhu koridor pada dinding papan semen partikel lebih rendah dari pada dinding eksisting 1,22 °C.

Dengan demikian, hubungan penggunaan papan panel partikel terhadap reduksi temperatur lingkungan koridor dinding yang membujur Utara dan Selatan (dinding bagian Timur dan Barat), adalah tetap menurunkan temperatur koridor. Untuk lebih jelasnya hasil simulasi terdapat pada lampiran 6.

#### 4.6. Pemasangan.

Pemasangan pada dinding dengan memakai mur baut agar pemasangan lebih praktis. Baut di tanam pada dinding kemudian panel dilubangi seukuran dengan baut, kemudian panel dipasang dengan memasukkan lubang pada baut. Setiap modul panel terdapat empat lubang baut. Setelah panel terpasang kemudian dipasang mur untuk menguncinya. Untuk detail pemasangan mur pada panel dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. Pemasangan dan penguatan posisi panel pada dinding  
(Sumber: Penulis, 2010)

#### 4.7. Pertimbangan ekonomi

Berdasarkan pada perhitungan bahasan sebelumnya maka didapat indeks sebagai berikut:

Tabel 4.4. Tabel hasil perhitungan indeks material dinding

Material	Indeks (p/R)
Dinding Batu bata	1.089.452
Papan semen paartikel	14.370
Gabungan keduanya	48.864

(Sumber: Penulis, 2010)

Kinerja gabungan ekonomis dan performa termal semakin baik bila nilai indeksinya semakin rendah. Tabel 4.4 di atas memperlihatkan kinerja yang optimal adalah pemakaian dinding papan semen partikel tunggal ( $i = 14.370$ ). Pada peringkat kedua bila kedua material digabung ( $i = 14.370$ ). Sementara bila hanya dinding batu bata saja akan didapat indeks = 1.089.452, yang memiliki selisih sangat besar dengan kedua tipe pemasangan material lainnya.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa pada Bab IV dapat disimpulkan, bahwa :

- a. Selisih antara Temperatur luar (TO) dinding eksisting dengan Temperatur Luar (TO) dinding papan semen partikel adalah  $1,906^{\circ}\text{C}$ , dimana temperatur luar dinding papan semen partikel memiliki suhu yang lebih rendah. Konsekuensinya adalah pada pemakaian papan semen partikel, temperatur nyaman ( $23^{\circ}\text{C}$  -  $29^{\circ}\text{C}$ ) lebih lama bertahan 1 jam dibandingkan dinding eksisting.
- b. Temperatur *sol-air* dinding papan semen partikel lebih rendah daripada temperatur *sol-air* dinding eksisting dengan kisaran selisih antara  $1,9^{\circ}\text{C}$  -  $9,19^{\circ}\text{C}$ . Selisih yang fluktuatif ini disebabkan penerimaan radiasi dan kecepatan angin yang berbeda pada setiap jamnya.
- c. Hasil uji lapangan menunjukkan bahwa papan semen partikel (emisivitas = 0,61, konduktivitas =  $0,31\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ , *embodied energy* = 0,1) mampu menghasilkan 42% kenyamanan suhu harian, artinya suhu udara koridor bertahan pada rentang nyaman selama 6 jam (2 jam lebih lama daripada batu bata).
- d. Penerapan arsitektural dari dinding papan semen partikel didasarkan pada optimalisasi komposisi pengaturan jarak antar panelnya sehingga mencapai suhu TO yang optimal. Papan semen partikel dapat di terapkan dalam beberapa posisi terhadap dinding. Sesuai dengan tujuannya dan berdasarkan hasil penelitian, maka fungsi papan semen partikel untuk menurunkan suhu lingkungan di aplikasikan di luar bangunan. Sementara jarak antar panel yang optimal bagi pengaturan komposisi arsitektural adalah di bawah 1,95 m dengan rentang kenaikan suhu di bawah  $1^{\circ}\text{C}$ .
- e. Kinerja gabungan ekonomis dan performa termal semakin baik bila nilai indeksnya semakin rendah. Kinerja yang optimal adalah

pemakaian dinding papan semen partikel tunggal ( $i = 14.370$ ). kemudian apabila kedua material digabung ( $i = 14.370$ ). Sementara apabila hanya dinding batu bata saja akan didapat indeks = 1.089.452, selisihnya sangat besar dibandingkan dengan kedua tipe pemasangan material lainnya.

Pengujian terhadap kedua material ini memberikan kesimpulan bahwa dinding papan semen partikel lebih baik kinerjanya terkait dengan kenyamanan termal dibandingkan dinding batu bata, sesuai dengan kondisi yang tertuang pada tabel 5.1, sebagai berikut:

Tabel 5.1. Perhitungan *embodied energy* yang dihasilkan masing-masing material

Properti Material	TO	TO	TO
	(batu bata-a: Malioboro)	(batu bata-b)	(Papan semen partikel)
Emisivitas ( $e_w$ )	0.89	0.65	0,61
Densitas ( $\text{kg/m}^2$ )	1800	1500	300
Konduktivitas ( $\text{W/m } ^\circ\text{C}$ )	1.210	0.650	0.310
<i>Embodied Energy</i>	1,2	1,2	0,1
Ho			
6	25	24.8	23.1
7	25.5	25.3	23.6
8	26.6	26.2	24.7
9	27.5	26.9	25.6
10	29.3	29.1	27.4
11	30.5	29.4	28.6
12	34.5	32.8	32.6
13	31.8	30.5	29.9
14	32.5	31.1	30.6
15	32.5	31.1	30.6
16	31.5	30.3	29.6
17	30	29.0	28.1
18	29	28.2	27.1
Persentase			
Kenyamanan-Termal Harian	0.33	0.33	0.50

(Sumber: Peneliti, 2010)

Fenomena perbedaan suhu koridor antara material batu bata ( $e = 0,89$ ,  $t\text{-lag} = 3$  jam) dan panel ( $e = 0,61$ ,  $t\text{-lag} = 0,3$  jam) disebabkan oleh perbedaan properti material, khususnya emisivitas dan time lag. Mekanismenya ialah sebagai berikut: pada waktu yang sama dan intensitas radiasi yang sama maka batu bata akan memancarkan radiasi ke lingkungan sebesar 89%. Sementara papan semen partikel sebesar 61%; hal ini akan menyebabkan suhu luar di zona batu bata akan lebih tinggi daripada zona material papan semen partikel. Selain itu, pada kondisi yang sama maka radiasi akan cenderung ditahan/disimpan oleh material batu bata dalam waktu 3 jam sedemikian sehingga akumulasi panas lingkungan dan dalam bahan batu bata cenderung lebih besar.

## 5.2. Saran

Kinerja papan semen partikel yang lebih baik dalam kontribusi kenyamanan termal memberikan manfaat yang cukup relevan dalam situasi dimana vegetasi tidak dimungkinkan dalam modifikasi iklim mikro. Dengan demikian, saya merekomendasikan beberapa hal, sebagai berikut:

- a. Para praktisi di bidang arsitektur dapat memanfaatkan berbagai inovasi material seperti papan semen partikel dalam memilih material yang tidak hanya bersifat *recycled* saja namun dapat berguna dalam modifikasi iklim mikro skala lingkungan.
- b. Pemanfaatan papan semen partikel sebaiknya dikampanyekan secara lebih intensif agar pemanfaatannya dapat memberikan kenyamanan termal yang diperlukan bagi masyarakat dalam kehidupan keseharian mereka.
- c. Pemerintah dapat memanfaatkan papan semen partikel ini dalam menciptakan lingkungan pemukiman yang lebih nyaman.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. A. Husin, "**Pemanfaatan Limbah Untuk Bahan Bangunan,**" Modul 1-3 ([http://www.pu.go.id/balitbang/puskim/Advis\\_Teknik/Modul%20C1%20\(bahan%20Bangunan/Modul%20C1\\_3%20Pemanfaatan%20Limbah.pdf](http://www.pu.go.id/balitbang/puskim/Advis_Teknik/Modul%20C1%20(bahan%20Bangunan/Modul%20C1_3%20Pemanfaatan%20Limbah.pdf) Cache, diakses 9 oktober 2007).
- A.A. Pratama, "**Sifat Thermal Bahan Atap Dan Dinding Rekayasa Thermal Bangunan,**" jurusan arsitektur fakultas teknik sipil dan perencanaan universitas islam indonesia, yogyakarta, 2006.
- Anonim, "**Laporan Akhir Penyusunan Rencana Pembangunan Prasarana dan Sarana Kawasan Malioboro,**" Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Bina Tata Perkotaan dan Perdesaan, 1997.
- Bill Watts, "**Comfort, Health And Environmental Physic,**" dalam buku Environmental Design, hal.10-11 London: E & FN SPON, 1997.
- E. Allen, "**Dasar-Dasar Konstruksi Bangunan, Bahan-Bahan dan Metodenya**" Edisi ke Tiga, Penerbit Erlangga 2003 G. Sutanta "**dinding**" Griya Kreasi, April 2007.
- George Lippsmeier, "**Bangunan Tropis,**" Jakarta: Erlangga, 1994.
- Houghton and Yahlou, "**Determining Lines of Equal Comfort, Transactions of America Society of Heating and Ventilating Engineers,**" vol. 29, 1923.
- Koenigsberger, T. G. Ingersoll, Alan Mayhew and S.V. Szokolay, "**Manual of Tropical Housing and Building,**" London: Longman Group Limited, 1974.
- Mas Santosa, "**Arsitektur Surya, sebuah fenomena spesifik untuk daerah tropis lembab,**" dalam Seminar Nasional Arsitektur Surya 2000 Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Arsitektur Universitas Kristen Petra, Surabaya, 18 November 2000.
- N. Lechner, "**Heating Cooling Lighting, Metode Desain Untuk Arsitektur,**" Edisi ke Dua, terjemahan Siti Sandriana, PT. Raja Grafindo Persada, 2007.
- Prasasto SATWIKO, Soesilo Budi LEKSONO., O.Th. KRISTANTORO, Proposal Collaborative Research Grant Program: "**Pengembangan Sistem Ventilasi Atap Tenaga Angin dan Surya,**" (SIVATAS), Yogyakarta: Universitas Atmajaya, 2000/2001.
- Prasasto Satwiko, "**Fisika Bangunan 1,**" Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2004.

Prasasto Satwiko, "***Fisika Bangunan 2***," Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2004.

SK SNI T-14-1993-03.

SNI 03-6389-2000.

Soegijanto, "***Pengendalian Kondisi Lingkungan di Dalam Bangunan Rumah Tinggal di Daerah Tropis Lembab***," hal 335, Desertasi Doktor, ITB, Bandung, 1980.

Soegijanto, "***Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab Di Tinjau Dari Aspek Fisika Bangunan***," fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung, 2000.

Soegijanto, "***Desain Bangunan Berventilasi Alami Di Indonesia Yang Memenuhi Aspek Kenyamanan Termal Hunian***," dipresentasikan pada diskusi teknis kenyamanan termal hunian di indonesia yang menunjang program konservasi energy, fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Bandung, 2006.

Surjatmanto, "***Iklim dan Arsitektur***," Departemen Teknik Arsitektur ITB, Bandung 2000.

Susanti Sumampe, "***Pengaruh Penggunaan Dinding Bata Beton Sekam Padi Terhadap Kondisi Termal Ruang Rumah Tinggal***," Tesis Riset, Jurusan Arsitektur FT UI, 2008.

Terry T. Meyer, "***Energy Economics and Building Design***," hal. 10, New York: McGraw-Hill Book Co, 1983.

Victor Olgyay. "***Design With Climate***," Bioclimatic approach to architectural regionalism. Princeton: Princeton University Press, 1962.

V. T. Noerwasito, Mas Santosa "***Pengaruh Thermal Properties Material Bata Merah***," Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - Universitas Kristen Petra, hal. 147-153, ([http://www.petra.ac.id/~puslit/journals/dir.php? DepartmentID= ARS](http://www.petra.ac.id/~puslit/journals/dir.php?DepartmentID=ARS) diakses 16 Oktober 2009).

WS. Witarso, "***Pengembangan Bahan Bangunan Berbasis Limbah***," Balai Bahan Bangunan, Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah Badan Penelitian Dan Pengembangan Kimpraswil Pusat Penelitian Dan Pengembangan Permukiman, Bandung, 2006.

[www.google.com](http://www.google.com)

[www.pu.com](http://www.pu.com)

**LAMPIRAN 1****UJI KONDUKTIVITAS TERMAL**

Gambar alat pengukur daya hantar panas *Hot-Wire*

**Cara Pengujian:**

Dua Benda uji dimasukkan pada kotak kaca, salah satunya ditempatkan di atas benda uji lainnya. Diantara kedua benda uji ini ditempatkan kawat yang akan dialiri listrik untuk menghasilkan panas. Selisih panas awal dan panas akhir akan terbaca pada alat ukur di sebelah kanan kotak kaca.



## LAMPIRAN 3

## NILAI ABSORPSIVITAS

Bahan dinding luar	$\alpha_w$	Cat dinding luar	$\alpha_w$
bata merah	0,89	hitam merata	0,95
beton ekspos	0,61	abu-abu tua	0,91
beton ringan	0,86	coklat tua	0,88
aspal jalan setapak	0,82	abu-abu biru tua	0,88
kayu permukaan halus	0,78	biru/hijau tua	0,88
cat aluminium	0,40	coklat medium	0,84
kerikil	0,29	hijau medium	0,59
seng putih	0,36	kuning medium	0,58
		hijau/biru medium	0,57
		hijau muda	0,47
		putih agak mengkilap	0,30
		putih mengkilap	0,25

## NILAI KONDUKTIVITAS

Bahan	konduktivitas (W/m°C)
aspal	0,576
batu bata	1,210
plester	0,86
beton	1,440
papan gypsum	0,159
plywood	0,138
papan dari jerami	0,093
udara	0,026
air	0,580

## LAMPIRAN 4

HASIL PERHITUNGAN *T-solair*

(a). Dinding batu bata

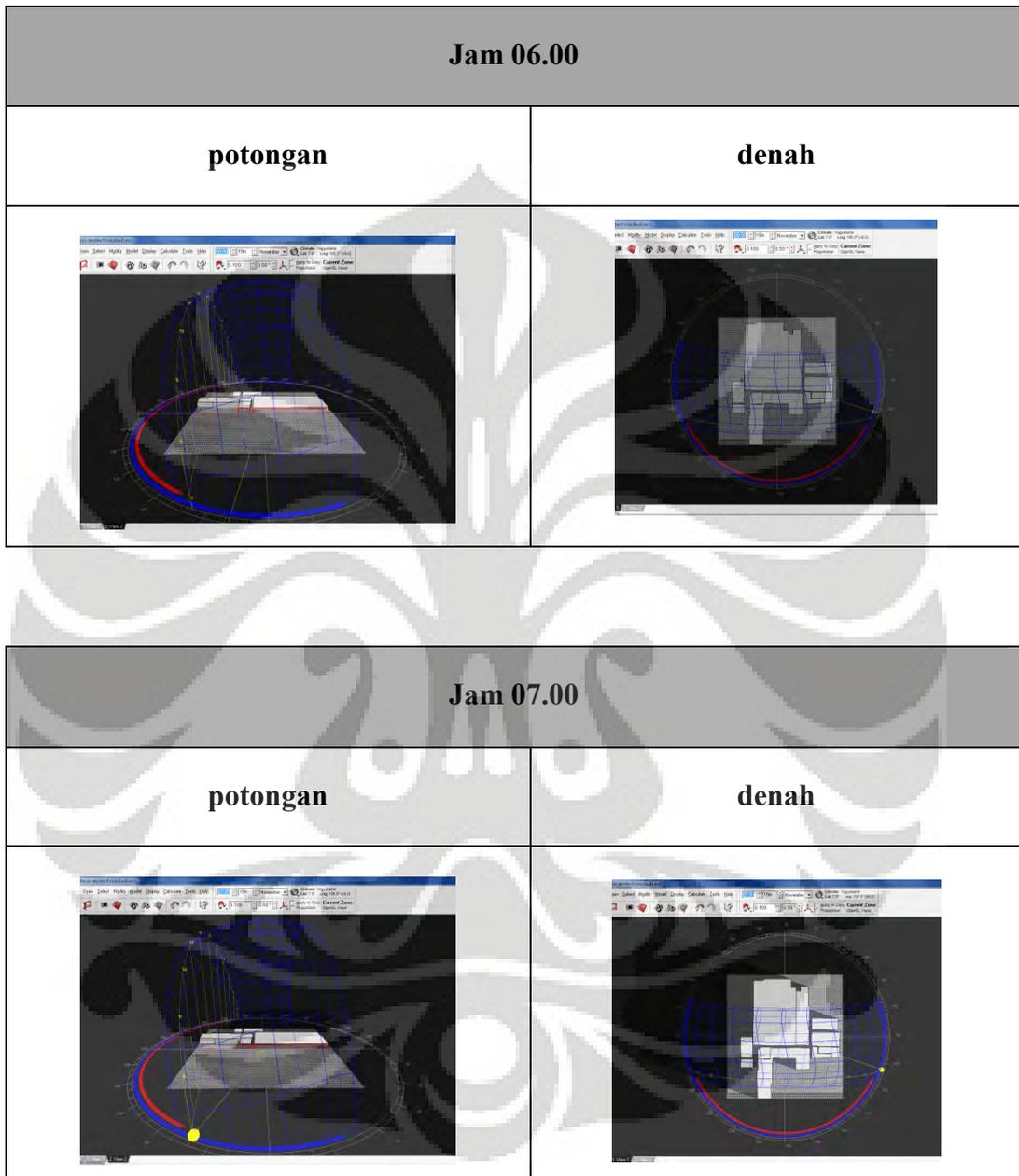
Ho	To	I	$\alpha_w$	$\alpha_p$	fo	$T_{s \text{ ddg eksisting}}$
6	25	0	0,89	0,59	16,85	25,00
7	25,5	22	0,89	0,59	16,5	26,49
8	26,6	70	0,89	0,59	13	30,58
9	27,5	131	0,89	0,59	16,5	33,38
10	29,3	211	0,89	0,59	16,5	38,76
11	30,5	251	0,89	0,59	16,5	41,76
12	34,5	248	0,89	0,59	16,85	45,39
13	31,8	267	0,89	0,59	22,625	40,53
14	32,5	258	0,89	0,59	22,1	41,14
15	32,5	265	0,89	0,59	13	47,58
16	31,5	203	0,89	0,59	14,75	41,68
17	30,0	0	0,89	0,59	13	30,00
18	29,0	0	0,89	0,59	13	29,00

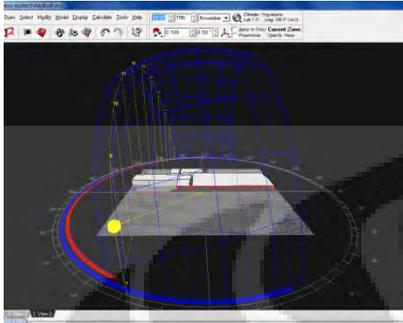
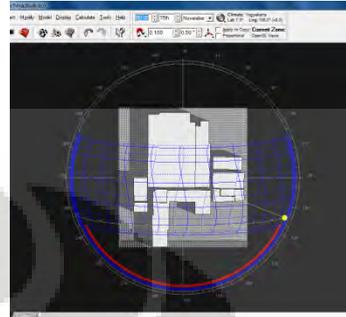
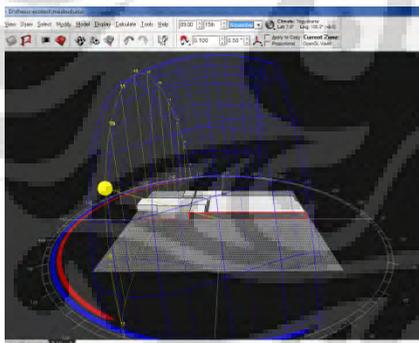
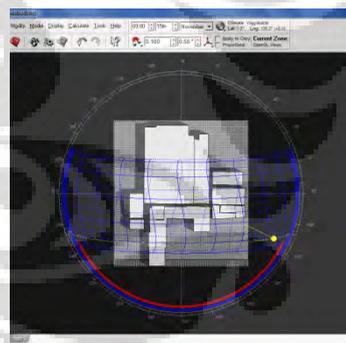
(b). Papan semen partikel

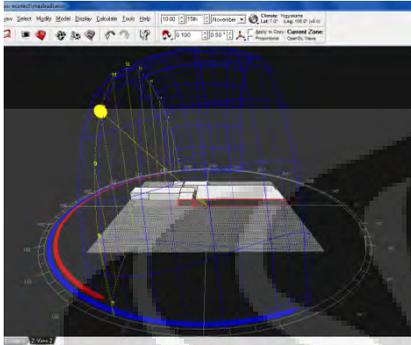
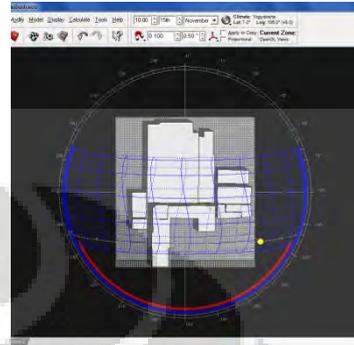
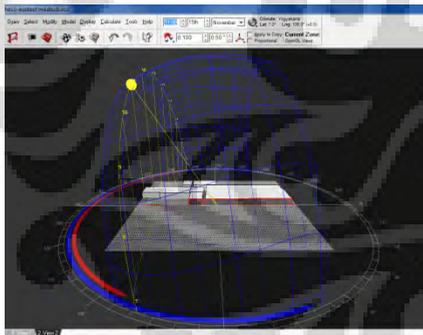
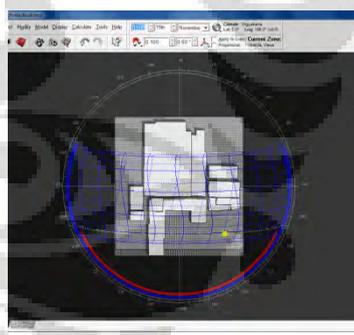
Ho	To	I	$\alpha_w$	$\alpha_p$	fo	$T_{s \text{ papan semen partikel}}$
6	23,1	0	0,61	0,91	29,69	23,10
7	23,6	22	0,61	0,91	29,34	24,17
8	24,7	70	0,61	0,91	25,84	26,76
9	25,6	131	0,61	0,91	29,34	28,99
10	27,4	211	0,61	0,91	29,34	32,87
11	28,6	251	0,61	0,91	29,34	35,10
12	32,6	248	0,61	0,91	29,69	38,95
13	29,9	267	0,61	0,91	35,47	35,62
14	30,6	258	0,61	0,91	34,94	36,21
15	30,6	265	0,61	0,91	25,84	38,39
16	29,6	203	0,61	0,91	27,59	35,19
17	28,1	0	0,61	0,91	25,84	28,10
18	27,1	0	0,61	0,91	25,84	27,10

## LAMPIRAN 5

## ANALISIS ALTITUDE

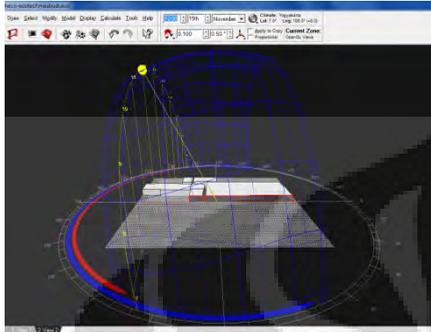


**Jam 08.00****potongan****denah****Jam 09.00****potongan****denah**

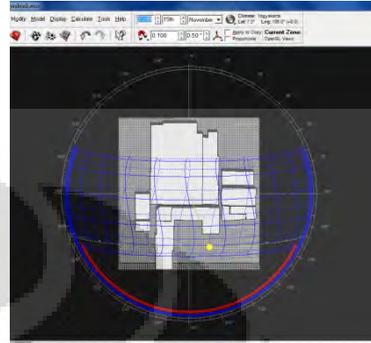
**Jam 10.00****potongan****denah****Jam 11.00****potongan****denah**

## Jam 12.00

potongan

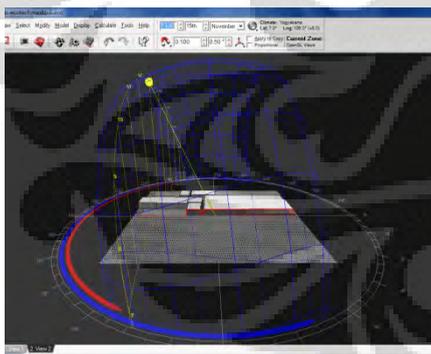


denah

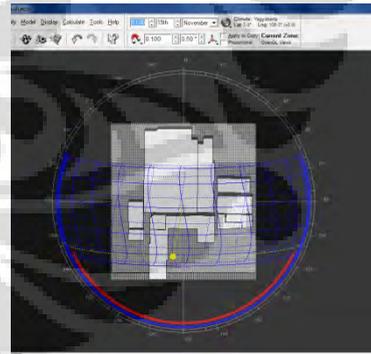


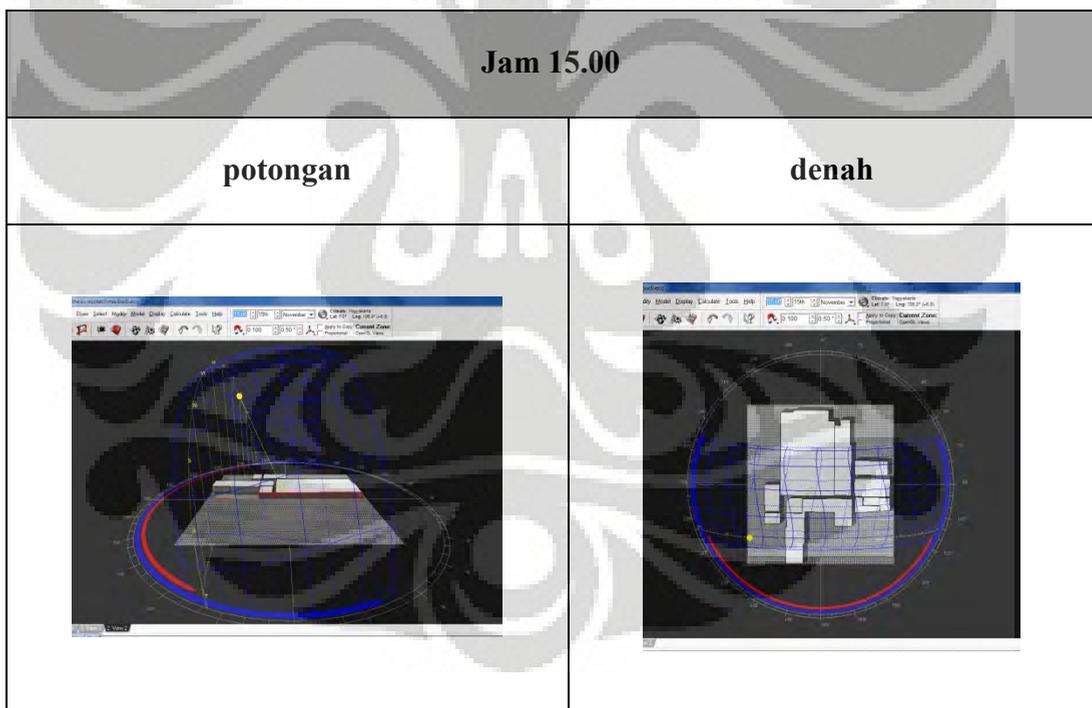
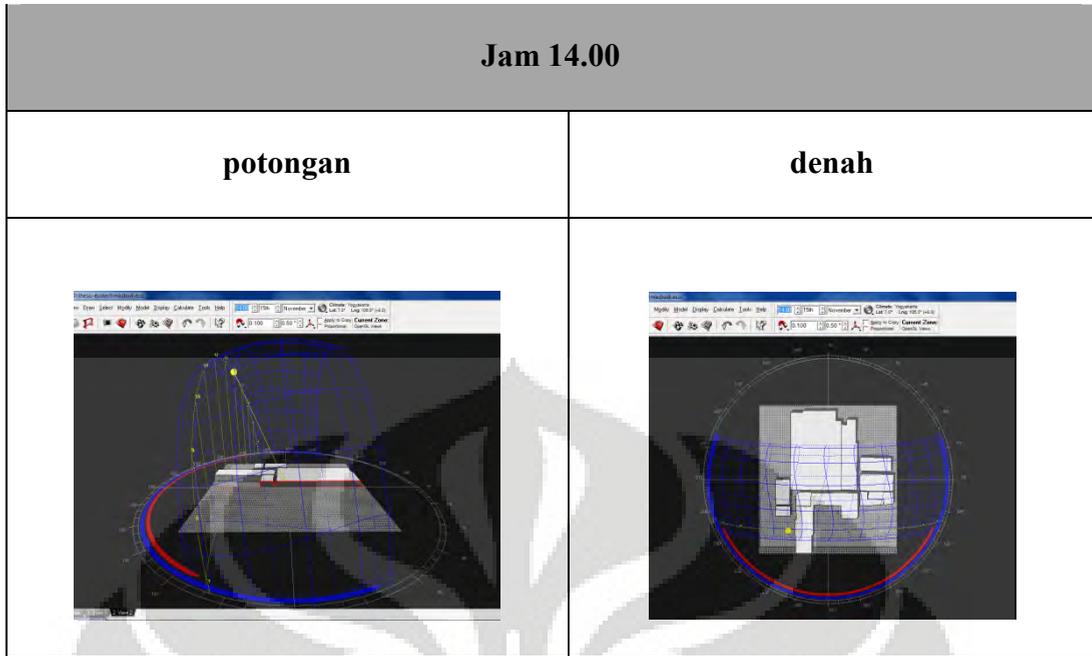
## Jam 13.00

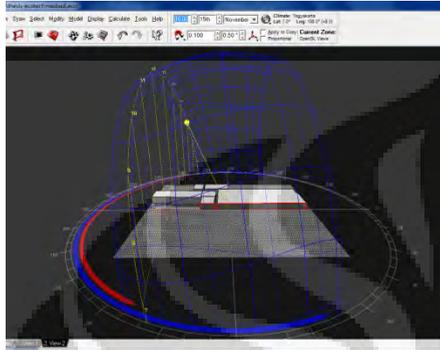
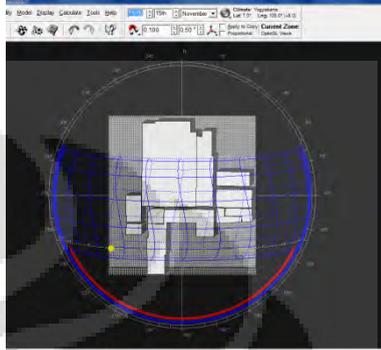
potongan

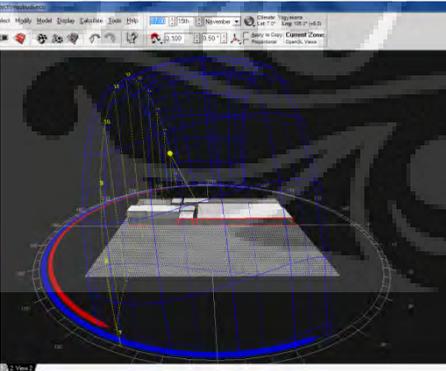
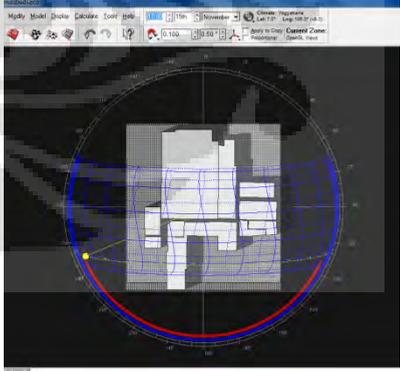


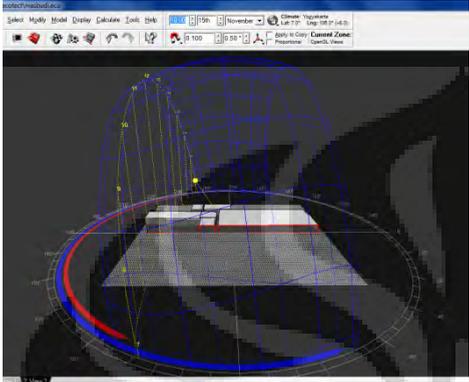
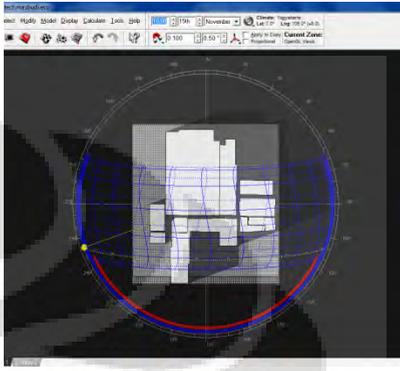
denah





Jam 16.00	
potongan	denah
	

Jam 17.00	
potongan	denah
	

Jam 18.00	
potongan	denah
	



LAMPIRAN 6

