

LAPORAN PENELITIAN

No. 0 /Pen/Arsitektur//2012

**FASTENENING COOLING-EFFECT WATER of ROOFPOND by “WINDPIPES
ROOFPOND” in TROPICAL CLIMATE of SURABAYA**

Oleh:

Ir. Danny Santoso Mintorogo, M.Arch.

Ir. Wanda Widigdo C, M.Si

JURUSAN ARSITEKTUR



**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS KRISTEN PETRA
SURABAYA
2012**

HALAMAN PENGESAHAN

1. a. Judul : *Fastening Cooling-Effect Water of Roofpond by "WindPipes Roofpond" in Tropical Climate of Surabaya*
2. b. Nomor Penelitian : 0 /Pen.Arsitektur/UKP/2012
c. Bidang Ilmu : Sains Arsitektur
3. Ketua Peneliti
a. Nama Lengkap dan Gelar : Ir. Danny Santoso Mintorogo, M. Arch.
b. Jenis Kelamin : laki-laki
c. Pangkat/Golongan/NIP : IV D/90-002
d. Jabatan Akademik : Lektor Kepala 550
e. Fakultas/Jurusan : FTSP/Arsitektur
f. Universitas : Universitas Kristen Petra
4. Anggota Peneliti 1:
a. Nama Lengkap dan Gelar : Ir. Wanda Widigdo C, M.Si
b. Jenis Kelamin : perempuan
c. Pangkat/Golongan/NIP : IV C/82-008
d. Jabatan Akademik : Lektor Kepala 400
e. Fakultas/Jurusan : FTSP/Arsitektur
f. Universitas : Universitas Kristen Petra
5. Lokasi Penelitian : Universitas Kristen Petra Surabaya
6. Jangka Waktu Penelitian : Januari 2012 – Juli 2012
7. Biaya
a. Sumber dari UK Petra : Rp. 5.000.000,-
b. Sumber lainnya :
Total : Rp. 5.000.000,-

Surabaya, 31 Agustus 2012

Mengetahui,
Ketua Jurusan Arsitektur

Ketua Peneliti,

Agus Dwi Haryanto, ST.,MSc.
NIP. 99033

Ir.Danny S. Mintorogo, M. Arch
NIP: 90002

Menyetujui:
Dekan FTSP,

Ir. Handoko Sugiharto, MT.
NIP: 84028

Abstrak

Bangunan beratap beton datar umumnya sangat banyak pada bangunan pertokoan, *shopping mall*, gedung perkantoran, perhotelan bahkan didominasi ruko, rukan dan rumah-rumah. Atap beton yang datar merupakan ruang luar yang dapat dimanfaatkan untuk utilitas bangunan, *landscape* dan tambahan ruangan bila diperlukan (fleksibilitas tinggi). Akan tetapi solar radiasi matahari di daerah tropis, umumnya didekat ekuator, khususnya Surabaya (sekitar 7° S) mempunyai tingkat radiasi yang sangat tinggi, rata-rata solar radiasi horisontal di musim penghujan mencapai sekitar 363 Wh.m^2 , dan 396 Wh.m^2 di musim kemarau. Konsentrasi panas solar radiasi matahari tersebut dapat memanaskan atap-atap beton datar tersebut sehingga akan menambah beban pendinginan ruangan maupun mengurangi *thermal comfort*. *Roofpond* biasa dan modifikasi *roofpond* atap beton datar, yaitu *Wind Pipes Roofpond* adalah untuk mengurangi beban solar radiasi matahari melalui atap secara 100% *passive cooling system*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja *Windpipes Roofpond* untuk mempercepat pendinginan temperatur air kolam di atap beton datar. Terkait dengan cepat dinginnya temperatur air kolam atap beton datar maka termal atap beton datar dan ruangan dibawahnya juga akan lebih cepat rendah di bandingkan dengan atap *Roofpond* murni. Sistem pendinginan atap dan ruang *Roofpond* adalah sistem “*Passive Cooling*”. Besaran termal yang diukur adalah temperatur air kolam dan ruangan dengan model *Stevenson Screen* 1 m x 1 m yang penutup atap terbuat dari cor beton bertulang setebal 6 cm. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan *HOBO data logger* U-12. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa temperatur air kolam atap beton datar lebih dingin dengan sistem *Windpipes Roofpond* daripada sistem *Roofpond* biasa. Demikian dengan termal atap dan ruangan menjadi lebih kecil. Dalam mereduksi solar radiasi atap sepanjang tahun, sistem *Windpipes Roofpond* tanpa diberi pembayangan atap berbentuk V dibandingkan dengan *Roofpond* biasa maka rata-rata temperatur air kolam sistem *Windpipes Roofpond* lebih rendah (1.4°K) pukul 14.00 pada bulan Maret, terkecuali pada bulan September dan Oktober temperatur air kolam sistem *Windpipes Roofpond* lebih besar (0.3°K). Demikian temperatur ruangan, sistem *Windpipes Roofpond* tanpa diberi pembayangan atap berbentuk V dibandingkan dengan *Roofpond*

biasa dan atap beton datar, rata-rata temperatur ruangan sistim *Windpipes Roofpond* lebih rendah (0.4°K & 3.4°K) pukul 14.00 pada bulan Maret, Juni (0.7°K & 3.5°K), September (1.1°K & 3°K), Oktober (0.4°K & 4.3°K), Desember (1.3°K & 2.4°K).

Kata Kunci: *Wind pipes roofpond, fastened cooling effect, room thermal.*

KATA PENGANTAR

Penelitian ini dengan judul, “*Fastening Cooling-Effect Water of Roofpond by Windpipes Roofpond in Tropical Climate of Surabaya*” merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya yang berjudul EFEKTIVITAS VARIASI SISTIM “*ROOFPOND*” MEREDUKSI TERMAL ATAP BETON DATAR DI SURABAYA. Penelitian ini dikembangkan oleh Kelompok Kajian Arsitektur Tropis, Jurusan Arsitektur, FTSP, Universitas Kristen Petra.

Konsteks penelitian ini, melihat variasi sistim *roofpond* yang dapat mendinginkan air kolam *roofpond* lebih cepat daripada sistim *roofpond* konvensional. Ke-efektifan *Windpipes Roofpond* (atap datar beton kolam air dengan pipa-pipa udara) untuk lebih dapat mereduksi temperatur atap beton lebih rendah dan memperkecil termal ruang bangunan di Surabaya yang beriklim Tropis Lembab. Penelitian ini dilakukan dengan tenggang waktu pengambilan data pengukuran juga satu tahun seperti penelitian sebelumnya, agar diperoleh perilaku termal atap beton pada musim hujan dan musim kering. Lokasi penelitian ini mengambil lokasi penelitian *roofpond* sebelumnya, yaitu dilakukan di atas atap beton gedung J, Universitas Kristen Petra, Surabaya. Diharapkan adanya modifikasi variasi sistim *roofpond* dengan pipa udara pada atap beton bangunan di penelitian ini, atap beton dan ruang dibawahnya mendapatkan efek pendinginan yang lebih baik dari pada modifikasi *roofpond* pada penelitian sebelumnya. Sehingga penelitian ini dapat memicu penelitian-penelitian lebih lanjut yang lebih terinci dan menghasilkan temuan pendinginan atap beton di iklim Tropis Lembab yang lebih sempurna.

Kami bersyukur pada Tuhan karena penelitian ini dapat diselesaikan hingga penulisan laporan ini. Akhir kata kami berharap agar hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, Segala kritik dan saran dapat disampaikan pada kami untuk perbaiki dikemudian hari.

Surabaya, Agustus 2012

Hormat kami,

Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Perpindahan panas (<i>heat transfer</i>) pada atap beton dengan <i>roofpond</i>	5
2.2. Macam-macam penelitian <i>roofpond</i> pada atap beton	7
2.3. Penggunaan “ <i>Phase Change Material (PMCs)</i> ” pada atap datar .	9
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	12
3.1. Tujuan Penelitian.....	12
3.2. Manfaat Penelitian	12
BAB IV METODE PENELITIAN.....	13
4.1. Parameter.....	13
4.2. Prosedur Penelitian	13
4.3. Model Penelitian.....	14
4.4. Alat Ukur.....	16
4.5. Lokasi Pengukuran.....	16
4.6. Waktu dan Methoda Pengukuran.....	17
4.7. Macam Pengukuran.....	18
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	37
BIAYA PENELITIAN.....	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Prinsip kerja <i>Roofpond</i> secara umum	3
Gambar 2A. Model atap beton datar biasa sebagai referensi (I), model <i>roofpond</i> (B), model <i>roofpond</i> biasa (II), model <i>Windpipes roofpond</i> (III)	14
Gambar 2B. Model <i>Windpipes roofpond</i>	15
Gambar 3. HOBO U12 + sensor	16
Gambar 4. Ke tiga model bersama <i>sun-shading device</i> bentuk V pada <i>deck</i> atap beton datar gedung J di Universitas Kristen Petra, Surabaya	17
Gambar 5. Atap tanpa penutup (A), Atap dengan penutup bentuk V (B)	18
Gambar 6. Temperatur Ruangan tanpa <i>Sun-shading</i> pada Maret	20
Gambar 7. Temperatur Ruangan tanpa <i>Sun-shading</i> pada Juni	20
Gambar 8. Temperatur Ruangan tanpa <i>Sun-shading</i> pada September	21
Gambar 9. Temperatur Ruangan tanpa <i>Sun-shading</i> pada Oktober	22
Gambar 10. Temperatur Ruangan tanpa <i>Sun-shading</i> pada Desember	22
Gambar 11. Temperatur Ruangan tanpa <i>Sun-shading</i> selama pagi hari (<i>Daytime</i>)	23
Gambar 12. Temperatur Ruangan tanpa <i>Sun-shading</i> selama malam hari (<i>Nighttime</i>)	23
Gambar 13. Temperatur Air Kolam tanpa <i>Sun-shading</i> bulan Maret	25
Gambar 14. Temperatur Air Kolam tanpa <i>Sun-shading</i> bulan September	25
Gambar 15. Temperatur Air Kolam tanpa <i>Sun-shading</i> bulan Oktober	26
Gambar 16. Temperatur Air Kolam tanpa <i>Sun-shading</i> bulan Desember	26
Gambar 17. Temperatur Air Kolam <i>Windpipes</i> dan <i>Roofpond</i> pada “ <i>Daytime</i> ”	27
Gambar 18. Temperatur Air Kolam <i>Windpipes</i> dan <i>Roofpond</i> pada “ <i>Nighttime</i> ”	28
Gambar 19. Temperatur Ruangan pakai <i>Sun-shading</i> pada Maret	29
Gambar 20. Temperatur Ruangan pakai <i>Sun-shading</i> pada Juni	29
Gambar 21. Temperatur Ruangan pakai <i>Sun-shading</i> pada September	30
Gambar 22. Temperatur Ruangan pakai <i>Sun-shading</i> pada Oktober	31
Gambar 23. Temperatur Ruangan dengan <i>Sun-shading</i> selama pagi hari (<i>Daytime</i>)	31
Gambar 24. Temperatur Ruangan dengan <i>Sun-shading</i> selama malam hari (<i>Nighttime</i>)	32
Gambar 25. Temperatur Air Kolam dengan <i>Sun-shading</i> bulan Maret	33
Gambar 26. Temperatur Air Kolam dengan <i>Sun-shading</i> bulan September	33
Gambar 27. Temperatur Air Kolam dengan <i>Sun-shading</i> bulan Oktober	34

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan Berbagai Media Penyimpan Termal

10

BAB I PENDAHULUAN

Sebelumnya telah dilakukan penelitian dengan judul; EFEKTIVITAS VARIASI SISTIM “*ROOFPOND*” MEREDUKSI TERMAL ATAP BETON DATAR DI SURABAYA. Penelitian yang telah dilakukan tersebut, bertujuan mencari effektivitas *roofpond* diatas atap beton datar konvensional, atap beton dengan *roofpond*, atap beton dengan *roofpond* berpipa air mengalir di Surabaya yang beriklim Tropis Lembab.

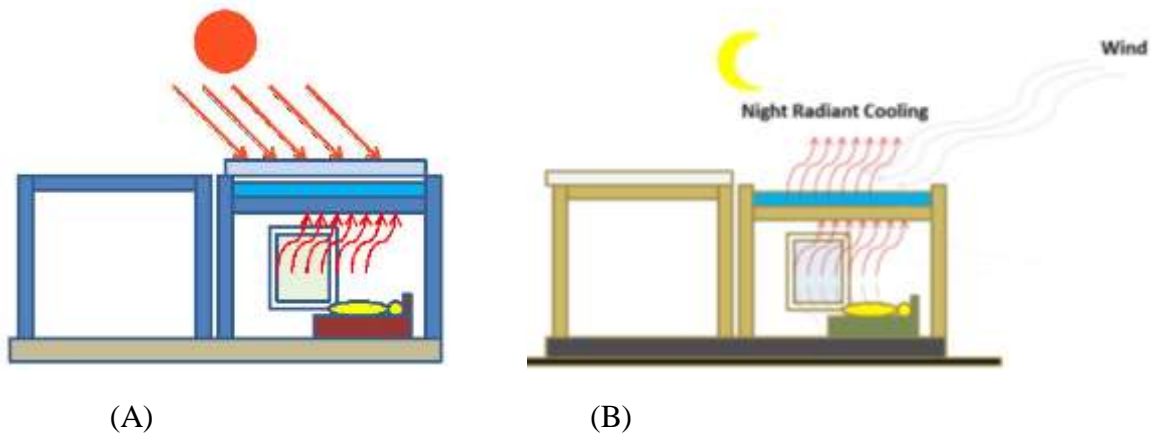
Pada penelitian sebelumnya tersebut ditemukan, bahwa pada bulan Maret, Juni, September dan Desember tahun 2010, suhu ruangan dengan sistim *roofpond* lebih rendah 1.4°C; 1.1°C; 2.2°C dan 1.1°C. Perbedaan suhu ruang sebesar 2.2°C, terjadi pada saat Surabaya mengalami suhu yang panas, yaitu pada awal musim hujan di bulan September hingga Desember. Hal ini berarti *roofpond* dapat mereduksi panas solar radiasi matahari horizontal melalui atap ke ruangan rata-rata sebesar 2.2°C. Prilaku temperatur ruangan atap beton berair dengan pipa-pipa yang dialiri air (*Waterpipes*), pada bulan Maret sampai Juli kadang mempunyai efek lebih baik (lebih rendah) daripada *roofpond*. Pada bulan September sampai Desember yang suhu udara umumnya di iklim Tropis Lembab dan khususnya di Surabaya sangat panas, *performa roofpond* lebih baik daripada atap beton berair dengan air mengalir pada pipa-pipa (*Waterpipes*), lagi pula konstruksi pipa-pipa air tidaklah mudah di bentuk di atap beton datar.

Di iklim tropis lembab, atap merupakan elemen bangunan yang harus mampu melindungi penghuni dari panas matahari, tetapi dapat juga mengurangi panas radiasi yang diteruskan kedalam bangunan sehingga dapat memberi kontribusi yang positif pada penggunaan energi pendinginan ruangan, ventilasi dan penerangan dari ruang-ruang dalam bangunan. Atap datar beton bertulang di iklim tropis lembab, dimana radiasi matahari radiasi matahari langsung sepanjang hari, dengan sudut datang radiasi matahari hampir tegak lurus atap bangunan pada saat siang hari akan mengakibatkan beban panas (*heat gain*) dari atap akan meningkatkan temperatur permukaan langit-langit dan berdampak pada beban panas radian pada penghuni. Seringkali atap datar beton digunakan tanpa langit-langit, sehingga panas radiasi matahari dari atap beton tersebut membuat beban pendinginan AC dalam bangunan menjadi tinggi

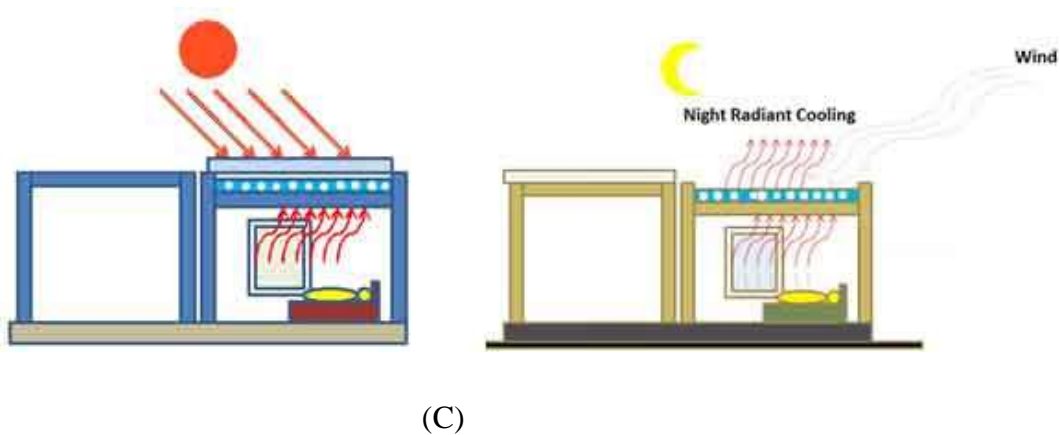
Dengan dasar pertimbangan, bahwa selubung bangunan mempunyai fungsi utama untuk mengendalikan atau mengurangi beban panas dari radiasi matahari yang masuk ke dalam bangunan (transmisi). Masuknya radiasi matahari kedalam bangunan melalui selubung vertikal yaitu dinding maupun horizontal atau miring yaitu atap. Dari atap bangunan akan menerima radiasi matahari langsung sepanjang hari, di mana di iklim Tropis sudut datang radiasi matahari hampir tegak lurus atap bangunan pada saat siang hari. Beban panas (*heat gain*) dari atap akan meningkatkan temperatur permukaan penutup atap kemudian diteruskan ke langit-langit dan berdampak pada beban panas radian pada penghuni. Atap bangunan dapat menyumbang sekitar 36.7% dari total radiasi matahari yang jatuh pada bangunan satu lantai dengan dinding yang berorientasi ke sinar matahari. (Nahar et al.2003). Di beberapa kepustakaan menunjukkan bahwa 50% beban panas pada bangunan berasal dari atap. (Nahar et al.1999). Dari hasil penelitian dari Mintorogo (2008), intensitas iradiasi matahari yang jatuh pada bidang horisontal di Surabaya, rata-rata iradiasi global tiap jam 363 Wh.m². dan iradiasi total setiap hari (12 jam) rata-rata perbulan 3,925 Wh.m² pada musim hujan. Pada musim kering, rata-rata tiap jam per bulan sebesar 396 Wh.m² dan total iradiasi global selama 12 jam per hari adalah 5,158 Wh.m².

Penelitian upaya pendinginan atap bangunan yang dilakukan, adalah menggunakan *roofpond* dengan berbagai modifikasi isolasi (Tang and Etzion 2005). Penelitian-penelitian serupa diberbagai lokasi telah dilakukan oleh; Kharufa (2008), Spanaki (2007), Yannas (2006), Jain (2006), Nahar et al. (2003), yaitu dengan mengembangkan berbagai modifikasi dan meneliti efektivitasnya sebagai pendingin atap. Untuk dapat menemukan bentuk pendinginan yang lebih baik pada atap beton datar dengan menggunakan modifikasi *roofpond*, diklim Tropis Lembab khususnya Surabaya, maka dilakukan penelitian lebih lanjut. Modifikasi *roofpond* pada penelitian kedua ini, diyakini dapat lebih cepat mendinginkan air *roofpond* sehingga lebih dapat mengurangi beban panas termal pada bangunan dari atap maupun dari beban termal ruangan. Perkembangan penggunaan *roofpond* dengan berbagai modifikasi ini, harus tetap berdasarkan prinsip keseimbangan panas pada *pond*, dan integrasi semua mekanisme penerusan panas yang muncul pada sistem tersebut. Penerusan panas yang terjadi adalah penyerapan (*absorpsi*) radiasi matahari oleh air dan dasar *pond*.

Perpindahan panas terjadi secara konduksi (tembereng atap *pond*), konveksi (udara panas siang hari) dan radiasi matahari. Sedangkan pelepasan panas air *pond* terjadi secara evaporasi pada permukaan air sepanjang hari dan radiasi dingin langit malam hari (*nocturnal sky radiation*).



Gambar 1: Prinsip kerja *Roofpond* secara umum



Pada gambar 1 (A) dimana penutup/insulasi akan menutupi seluruh atap air (*roofpond*) mulai pagi hingga sore hari sehingga panas radiasi matahari tidak memanaskan air yang ada di atap beton dan suhu ruangan dibawah atap beton dengan air di atasnya (tanpa plafond) akan tetap rendah karena suhu beton akan dingin akibat tidak mendapat radiasi matahari pagi hingga sore serta temperatur atap rendah akibat proses pendinginan radiasi langit malam pada air di atap beton (pada kondisi penutup *pond* dibuka).

Gambar 1 (B), penutup/insulasi *roofpond* di buka mulai sore hari hingga keesokan pagi hari (pukul 6.00), hal ini untuk mendapatkan proses pendinginan “*Skytherm Concept*”—pendinginan akibat radiasi langit malam.

Sedangkan gambar 1 (C), *Windpipes Roofpond* dimana atap kolam beton datar dipasangi pipa-pipa besi yang dapat terhembusi angin pada ujung-ujungnya (lihat gambar (C), lingkaran putih pada *roofpond* warna biru)

Modifikasi *roofpond* dengan pipa-pipa besi terendam di *roofpond* diyakini dapat mempercepat proses pendinginan air di kolam sehingga kedinginan air kolam dapat lebih menyerap panas plat beton atap dan termal ruangan akan berkurang karena panas terserap oleh massa beton atap (plafon beton). Maka termal yang akan diteliti adalah:

1. Berapa besar perbedaan antara temperatur udara ruang terlindung *roofpond* biasa, temperatur udara ruang *roofpond wind pipes*, temperatur ruang atap plat beton dan temperatur udara luar terlindung.
2. Besaran perbedaan temperatur air atap kolam (*roofpond*) dengan air atap kolam (*roofpond windpipes*) serta temperatur atap beton datar sebagai acuan atap beton datar tanpa air.

Penelitian ini dilakukan dalam lingkup, penerusan panas pada *roofpond* berisi air sebagai pendinginan atap beton bangunan di iklim tropis lembab Surabaya. Batasan penelitian ini adalah, parameter penerusan panas dengan atap beton pada model percobaan (hanya 6 cm) dibandingkan dengan atap beton biasa (12-20cm), sehingga *time lag* akan berbeda.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perpindahan panas (*heat transfer*) pada atap beton dengan *roofpond* .

Seperti yang telah banyak diteliti, bahwa upaya mendinginkan atap beton datar agar ruang dibawahnya dapat mempunyai suhu ruangan yang tidak panas, dilakukan dengan membuat *roofpond*, yaitu kolam air (Tang and Etzion, 2005) dengan berbagai modifikasinya. Modifikasi *roofpond* berkembang dengan penggunaan air dan udara dalam bentuk radiator untuk pendinginan, dimana prinsipnya tidak berbeda banyak dari pengumpulan radiasi matahari dengan isolator air dan udara. Hal ini dilakukan agar terjadi pendinginan pada atap bangunan dengan *roofpond* diatas atap beton, dan akan terjadi proses pelepasan panas sebagai penurunan panas tetap, yaitu :

- Konveksi dan evaporasi, bila mediumnya adalah udara, yang dinyatakan oleh temperatur udara kering (*dry bulb temperature*) dan temperatur udara basah (*wet bulb temperature*)
- Radiasi gelombang panjang, bila mediumnya adalah udara langit (*sky*), yang dinyatakan dengan temperatur *sky efektif*

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan adalah modifikasi *roofpond* dengan penggunaan air dalam bentuk radiator untuk pendinginan, prinsipnya tidak berbeda dengan pengumpulan radiasi matahari dengan air (*water-based solar collectors*). Penelitian tersebut bertujuan mengetahui kinerja termal atap beton datar dengan *Roofpond* dan atap *Water Condenser* pada sistim “Passive Cooling” untuk mengurangi beban panas atap kedalam ruangan. Besaran termal yang diukur adalah temperatur ruang pada model *Stevenson Screen* 1 m x 1 m, penutup atasnya terbuat dari cor beton bertulang setebal 6 cm. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan *HOBO data logger* U-12. Hasil pengukuran menunjukkan, bahwa perilaku termal ruangan dengan sistim *Roofpond* cukup baik untuk mereduksi solar radiasi atap sepanjang tahun, terutama pada bulan September – Desember dimana suhu udara terpanas di Surabaya. Sistim *Roofpond* tanpa diberi pembayangan dibandingkan dengan atap beton datar konvensional, temperatur rata-rata ruang pada bulan Maret, Juni, September dan Desember tahun 2010, lebih rendah sebesar 1.4°C; 1.1°C; 2.2°C dan 1.1°C

Menurut Yannas et al. (2006), acuan modifikasi rancangan *roofpond* sebagai pendinginan atap, adalah :

- Tanpa pelindung dan tanpa semburan air (*spray*),
- Dengan pelindung, tanpa semburan air,
- Pendinginan secara radiatif
- Air sebagai medium pemindah panas.

Pada umumnya pengembangan modifikasi *roofpond*, menggunakan air sebagai media pendinginan yang kini dikembangkan dengan penggunaan udara. Udara akan berhembus melalui ujung-ujung pipa-pipa besi terendam dalam *roofpond* sehingga pendinginan air kolam diharapkan dapat dipercepat. Penelitian tersebut bertujuan mengetahui kinerja termal atap beton datar dengan *roofpond* biasa dengan atap *roofpond wind pipes* secara sistem “Passive Cooling” untuk mengurangi beban panas atap dalam ruangan. Besaran termal yang diukur adalah temperatur ruang pada model *Stevenson Screen* 1 m x 1 m, penutup atasnya terbuat dari cor beton bertulang setebal 6 cm.

Upaya ini dilakukan karena dari beberapa kepustakaan menunjukkan, bahwa 50% beban panas dalam bangunan berasal dari atap (Nahar et al.1999). Atap bangunan, menyumbang 36.7% dari total radiasi matahari yang jatuh pada bangunan satu lantai dengan dinding yang berorientasi ke sinar matahari. (Nahar et al., 2003; Wang et al. 2007). Atap akan meneruskan panas yang diterimanya kedalam bangunan yang akan menjadi beban panas dalam bangunan, sehingga berakibat pada temperatur udara dalam bangunan dan kenyamanan penghuni terhadap termal. Demikian pula pada atap datar beton, yang sering kali tidak mempunyai rongga udara antara atap dan ruangan yang berpenghuni, sehingga panas yang diterima atap dari radiasi matahari akan diteruskan langsung kedalam ruangan. Akibatnya temperatur udara dalam ruangan akan lebih tinggi dari tuntutan kenyamanan penghuni terhadap termal. Oleh karena itu pendinginan atap bangunan secara pasif merupakan salah satu cara untuk menurunkan beban panas dari atap, sehingga dapat memberikan kenyamanan terhadap termal dalam bangunan bagi penghuni. Untuk itu perlu adanya hambatan bagi perpindahan panas dari atap beton kedalam ruangan.

2.2. Macam-macam Penelitian *Roofpond*

Pendinginan atap bangunan dengan *roofpond* diatas atap beton, akan terjadi proses pelepasan panas sebagai penurunan panas tetap, yaitu :

- Konveksi dan evaporasi, bila mediumnya adalah udara, yang dinyatakan oleh temperatur udara kering (*dry bulb temperature*) dan temperatur udara basah (*wet bulb temperature*)
- Radiasi gelombang panjang, bila mediumnya adalah udara langit (*sky*), yang dinyatakan dengan temperatur *sky efektif*

Modifikasi *roofpond* dengan penggunaan air dan udara dalam bentuk radiator untuk pendinginan, prinsipnya tidak berbeda dengan pengumpulan radiasi matahari dengan air (*water-based solar collectors*). Menurut Yannas et al. (2006), acuan modifikasi rancangan *roofpond* sebagai pendinginan atap, adalah sebagai berikut,

- Tanpa pelindung dan tanpa semburan air (*spray*),
Kolam air terbuka pada udara ambien tanpa pelindung, tanpa sistim semburan air. Ini adalah bentuk *roofpond* yang paling sederhana.
 - Kedalaman air minimal 30 cm, untuk mengurangi fluktuasi temperatur akibat beban panas matahari siang hari. Temperatur air akan meningkat akibat beban panas matahari hingga terjadi penguapan. Fluktuasi temperatur udara biasanya berkisar 10 K.
 - Dasar kolam sebaiknya berwarna terang, untuk mengurangi penyerapan. Dampak faktor ini relatif kecil, meskipun kedalaman air hanya 30 cm, karena sebagian besar radiasi yang jatuh diserap oleh air.
- Dengan pelindung, tanpa semburan air,
Kolam air selalu berada dalam pembayangan dan tanpa semburan air. Pada bentuk ini, pelindung kolam membuat air tidak menjadi sangat panas, sehingga penguapan air terjadi pada temperatur lebih rendah dari temperatur udara ambien.
Perancangan dan instalasi pelindung seharusnya sebagai berikut :
 - Pelindung harus pada ketinggian agar pergerakan udara diatas air tidak terhambat, biasanya sekitar 30 cm.

- Bila pergerakan udara terhambat, fungsi utama pelindung adalah membayangi permukaan kolam. Pelindung ini seharusnya tidak meneruskan (*opaque*) radiasi matahari. Penyerapan radiasi matahari (permukaan atas), konduksi panas dan panjang gelombang emisi dari permukaan bawah pelindung tidak berpengaruh pada temperatur *roofpond*.
- Pendinginan secara radiatif

Kendala utama pada pendinginan secara radiatif adalah pendinginan bangunan yang tidak seimbang antara radiasi matahari yang diterima sepanjang siang hari dengan pancaran radiasi gelombang panjang pada siklus harian sepanjang 24 jam.

Ada 2 (dua) cara untuk mengatasi kendala ini :

 - Penutupan permukaan yang punya potensi radiasi, dengan maksud penutupan permukaan akan dibuka bila pendinginan dibutuhkan.
 - Alternatif, *Roofpond windpipes* terpapar setiap saat, dan media angin sebagai pengurang panas yang bersirkulasi di pipapipa besi. Atap beton datar terendam air yang dilengkapi pipa-pipa udara.

Udara juga merupakan medium pembawa panas secara konveksi.

Windpipes terpapar terbuka, dengan pipa-pipa terbuka kedua ujungnya agar udara bersirkulasi sebagai medium pemindah panas bila dibutuhkan pendinginan dan keadaan sekitarnya memungkinkan, bila :

- *Windpipes* dapat terbuat dari berbagai material. Warna permukaan pipa memberikan dampak yang kecil pada pendinginan, warna yang gelap akan lebih cepat menjadi dingin setelah matahari terbenam. Maka pipa sebaiknya berwarna netral bila berfungsi sebagai cadangan sistim pendinginan.
- Pipa berjarak cukup rapat.
- Diameter pipa perlu dipertimbangkan untuk rata-rata aliran medium, tetapi tidak lebih besar dari 10 mm.

- Panjang pipa disesuaikan ukuran atap, makin panjang pipa akan membutuhkan arus kecepatan medium lebih cepat. Perbedaan temperatur medium air yang masuk dan keluar pipa tergantung lamanya pipa terpapar.

Bila temperatur udara *ambien* lebih panas dari temperatur yang diharapkan dari udara yang keluar, maka :

- Dibutuhkan isolasi dibaliknya dan kisi-kisi angin untuk mengurangi beban panas konveksi dari lingkungan sekitarnya, agar temperatur udara yang keluar lebih rendah dari temperatur udara *ambien*.
- Rata-rata kecepatan udara sebaiknya rendah, agar temperatur udara yang keluar rendah.

Bila temperatur udara *ambien* lebih dingin dari temperatur yang diharapkan dari udara yang keluar, maka :

- Isolasi dibaliknya dan kisi-kisi angin akan menghalangi pendinginan
- Rata-rata kecepatan udara sebaiknya tinggi, untuk menjaga radiator tetap hangat sehingga memberikan panas pada lingkungannya.

Pada penelitian kali ini, pipa-pipa yang berada didalam *roofpond* yang tidak dialirkan air sebagai medium pemindah panas. Ujung-ujung pipa dibiarkan terbuka agar udara dengan temperatur *ambien*, masuk dan keluar pipa. Masuk dan keluarnya udara pada pipa diharapkan dapat membawa panas dan air dalam *roofpond* secara konveksi tetap dingin, sehingga dapat mengurangi panas yang diteruskan ke atap beton.

2.3. Penggunaan “Phase Change materials (PMCs) pada Atap datar.

Termal energi ada dua macam yaitu panas sensibel dan panas laten yang dapat di simpan pada media penyimpan panas berupa padat, cairan maupun material berubah bentuk seperti proses air ke es dan sebaliknya. PMCs tersebut digunakan diatas atap beton datar. Menurut Bruno (2004) material organik dan tak organik dapat digunakan untuk menyimpan panas laten dan sensibel; PMCs organik sering menggunakan bahan *paraffin waxes* yang berupa cairan konstan dan banyak keuntungannya: tidak menimbulkan korosif pada metal, tidak membutuhkan titik beku/didih untuk merubah

bentuk dari cair-padat-cair, kompatibel dengan banyak bahan bangunan, mempunyai daya simpan panas laten tinggi dan yang paling penting dapat di *recyclable*. Kekurangannya: nilai konduktiviti (k) rendah, volume perubahan jadi luas saat berubah bentuk dan mudah terbakar (*flammability*). PMCs non organik seperti *Salt hydrates* mempunyai nilai panas laten besar per unit volume, mempunyai nilai konduktiviti tinggi, tidak tergolong bahan mudah terbakar dan cost relatif murah dibandingkan bahan PMCs organik. Tetapi PMCs non organik ini bersifat sangat korosif pada semua metal dan mengalami perubahan bentuk melebihi sifat dasarnya serta membutuhkan *supercooling* untuk suatu perubahan. PMCs non organik ini juga dapat di daur ulang (*recyclable*) setelah masa efektif bahan.

PMCs organik dan non organik mempunyai kepadatan daya tampung energi besar dibandingkan dengan bahan penyimpanan energi lain seperti batu (*rock*) dan air. Tabel 1 yang ditunjukkan oleh Hasnain (1998) memperlihatkan berbagai kepadatan media massa daya simpan energi dimana PMCs lebih besar dibanding daya simpan bahan lain sehingga pemakaian PMCs dapat lebih sedikit.

Tabel 1 Perbandingan Berbagai Media Penyimpan Termal

Material	Mass (kg)	Relative Mass	Volume (m3)	Relative Vol
Rock	67,000	22	30	10
Water	16,000	5.3	16	5.3
PMC _(organik)	5,300	1.8	6.6	2.2
PMC _(inorganic)	4,350	1.5	2.7	0.9
Ice	3,000	1.0	3	1.0

Source: Bruno, Frank 2004

Stored energy=1,000 MJ or 278 kWh, change in temperature=15°C. Note: Relative mass and volume are based on ice.

Ferid & Kong desain dan menggunakan PMCs pada lantai beton agar dapat mempertahankan temperatur ruang stabil mendekati suhu yang diinginkan sekitar 24°C maka di gunakan PMCs bersamaan dengan konstruksi struktur lantai waktu

pembangunan bangunan karena tingkat suhu kenyamanan manusia berkisar antara 20°C – 30°C (http://en.wikipedia.org/wiki/Phase-change_material). Penelitian atap beton datar di beri PCM untuk mengurangi panas solar radiasi dari atap turun ke ruangan telah dilakukan oleh Ravikumar dan Srinivasan (2012). Tiga jenis atap dites yaitu: atap beton datar biasa tebal 15 cm, atap beton datar diberi lapisan tahan cuaca dari pecahan “*lime dan brick marter*” setebal 25 cm dan atap beton datar di tumpuki lapisan “*hollow brick*” segi empat dan PCM seberat 14 kg di lubang hollow brick kemudian sisi-awal dan akhir ditutup agar PCM kalau cair tidak tumpah keluar. Percobaan dilakukan 365 hari dan porsi PCM lebih banyak meleleh serta umumnya jam 8 pagi sampai 18.00 sore dengan puncak di jam 12,00 siang. Kemudian mulai menjadi solid lagi pada 6.00 pagi. Termal ruangan dengan PCM konstan karena sedikit dapat beban pendinginan dari atap siang hari (PCM meleleh dan panas radiasi sedikit menembus ke ruangan), sedangkan bulan September-Februari masa dingin dan hujan sehingga PCM di atap tidak mencair (hampir tetap *solid*) maka tidak ada termal ruangan keluar melalui beton atap, termal ruangan konstan dan hemat energi pemanasan ruangan.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada reduksi panas dari atap (*external climate*) ke ruang dalam (*indoor climate*) melalui atap datar beton dengan beberapa modifikasi *roofpond*. Tujuan dari pengukuran ini, adalah:

1. Mengetahui apakah modifikasi *roofpond* yang berbeda mempunyai kemampuan mereduksi panas yang diteruskan kedalam ruang dalam berbeda pula.
2. Membandingkan besar reduksi panas pada atap datar beton dengan beberapa modifikasi *roofpond*.
3. Mengetahui bentuk modifikasi *roofpond* yang paling efektif mereduksi panas atap datar beton dari beberapa modifikasi yang diteliti.

3.2. Manfaat Penelitian

Manfaat secara umum bagi perancang bangunan adalah dapat sebagai dasar pertimbangan dalam hal penggunaan beberapa modifikasi *roofpond* mereduksi panas yang jatuh pada atap datar beton bangunan, kemudian masuk keruang dalam di Surabaya. Manfaat secara khusus dalam desain termal bangunan adalah rekomendasi keunggulan salah satu modifikasi *roofpond* dalam mereduksi panas yang diterima atap datar beton bangunan dalam rangka mewujudkan kenyamanan termal dalam ruang, serta kemungkinan pengurangan beban panas bangunan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan pengukuran dengan menggunakan model pengukuran disuatu tempat kemudian membandingkan hasil pengukuran temperatur air kolam dan ruangan *roofpond* biasa dengan *windpipes roofpond* disamping itu model dengan atap beton plat datar akan berfungsi sebagai standard acuan utama.

4.1. Parameter

Berdasarkan permasalahan dan tujuan yang telah dirumuskan pada Bab I, maka dipilih dua modifikasi *roofpond*, yaitu:

1. Atap beton dengan *roofpond* kolam air (konvensional).
2. Atap beton dengan *roofpond* kolam air dimana akan ada pipa-pipa besi berdiameter 10 cm terendam di dekat dasar *roofpond* yang nantinya ujung-ujung pipa tersebut dapat terhembus oleh angin pagi-siang-malam (24 jam).

Parameter yang dipakai untuk menentukan besar nilai reduksi panas adalah:

- Temperatur ruang dalam dan udara luar ternaung dalam satuan °C.
- Temperatur air kolam *roofpond* dan temperatur permukaan atap beton datar, dinyatakan dalam satuan °C.
- Perbedaan temperatur air kolam *roofpond* dengan *windpipes roofpond* dengan temperatur luar permukaan atap beton datar, dinyatakan dalam satuan derajat Celcius.

4.2. Prosedur Penelitian

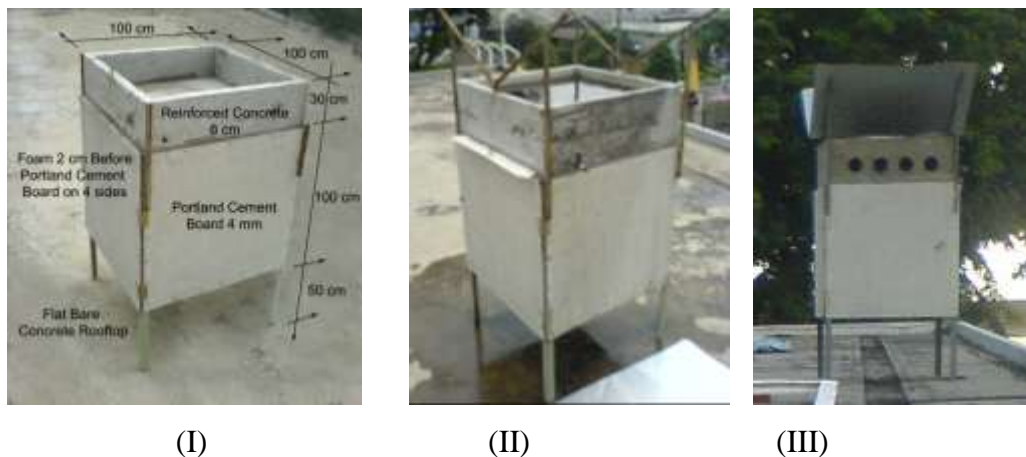
Untuk melaksanakan penelitian ini langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan pustaka yang mendasari dan menunjang penelitian ini, yaitu panas dan reduksinya, atap datar beton, reduksi panas dengan *roofpond*, reduksi panas oleh air dan udara
2. Menetapkan permasalahan dan tujuan.

3. Menetapkan parameter.
4. Menetapkan modifikasi *roofpond* yang akan diteliti.
5. Membuat model yang dipakai untuk pengukuran dan meletakkan model pada tempat terbuka.
6. Mengkalibrasi alat yang akan digunakan dalam penelitian.
7. Mengukur variable yang telah ditetapkan dan mencatat hasil pengukuran.
8. Mengolah data dengan bantuan program excel.
9. Membandingkan nilai-nilai hasil pengukuran suhu antara atap beton dengan *roofpond* dan *Windpipes roofpond*.
10. Mengambil kesimpulan.

4.3. Model Penelitian

Pengukuran temperatur air kolam dan temperatur ruangan akan dilakukan pada model yang diletakan pada ruang terbuka diatas atap gedung J, Universitas Kristen Petra, Surabaya. Pada penelitian ini akan menggunakan 3 unit model atap beton, lihat gambar 2A.



Gambar 2A: Model atap beton datar biasa sebagai referensi (I), model *Roofpond* biasa (II), model *Windpipes Roofpond* (III).

- I. Satu unit model atap datar beton ukuran 1.00 x 1.00, diletakan diatas 4 (empat) kaki, dengan ketinggian 1.50 diatas permukaan atap beton gedung J. Model ini

tanpa diisi air dan dibiarkan seperti atap beton datar pada atap-atap beton ruko dan rukan umumnya. Model ini berfungsi sebagai “*Model Referensi*”. (model pembanding perilaku termal).

II. Unit model ke 2 dengan atap datar beton ukuran 1.00 x 1.00, diletakan diatas 4 (empat) kaki, dengan ketinggian 1.50 diatas permukaan atap beton gedung J. Model ini diisi air setinggi 30 centimeter sebagai *roofpond*. Selanjutnya disebut *atap datar beton berkolam air* atau umumnya disebut “*Roofpond*”

III. Unit model ke 3 atap datar beton berukuran 1.00 x 1.00, diletakan diatas 4 (empat) kaki, dengan ketinggian 1.50 diatas permukaan atap beton gedung J. Diatas model ini diisi air setinggi 30 centimeter sebagai *roofpond* didalamnya ditambahkan pipa besi gas berdiameter 10cm Pipa-pipa tersebut akan terhembus tiupan angin selama 24 jam terus menerus, dengan tujuan dapat mempercepat pendinginan air kolam *Roofpond* yang terpanasi solar radiasi matahari dan akan meneruskan termal panas dari atap beton ke dalam ruangan. Selanjutnya disebut “*atap datar beton dengan roofpond berpipa udara*”(Windpipes Roofpond) (gambar 2A-(III) & 2B (I dan II)).



(I) Pembuatan *Windpipes Roofpond*

(II) Pelaksanaan (terendam Air)

Gambar 2B: Model *Windpipes Roofpond*

4.4. Alat Ukur

Alat ukur yang dipakai untuk mengukur temperatur ruang dan temperatur air kolam adalah HOBO data logger dengan rincian sebagai berikut (gambar 3):

1. Satu unit HOBO data logger U-12 pada model pertama: *under shade*, untuk mengukur temperatur udara luar terlindung (*under shade outdoor temperature*).
2. Satu unit HOBO data logger U-12 dengan 2 external sensor pada *Stevenson Model*
 - a. Temperatur air kolam
 - b. Temperatur permukaan beton ceiling ruang dalam
3. Satu unit HOBO data logger U-12
 - a. Temperatur ruang model
 - b. *Relative Humidity* (RH) ruangan



Gambar 3: HOBO U12 + sensor

4.5. Lokasi Pengukuran

Ke tiga model diletakkan berjarak satu sama lain 2 m dan tidak lurus sebaris. Sehingga tidak ada pembayangan atau pantulan dari benda lain, atau apapun yang menyebabkan kondisi termal pada masing-masing model berbeda.. Berdasarkan pertimbangan di atas maka tempat yang dipilih adalah atap beton datar gedung J, Universitas Kristen Petra, Surabaya.



Gambar 4: Ke 3 model bersama *sun-shading device* bentuk V pada *deck* atap beton datar gedung J di Univ. Kristen Petra.

4.6. Waktu dan Methoda Pengukuran.

Pengambilan data ukur menggunakan alat HOBO, pengukuran temperatur ruang dalam model dilakukan setiap 1 jam secara otomatis selama 24 jam dalam 1 tahun (Januari 2010 sampai dengan Desember 2010). Tujuan rentang waktu dan pengukuran selama 1 tahun untuk mendapatkan pengukuran suhu pada musim hujan dan musim kering secara homogen.

Data yang dipakai adalah hasil pengukuran pada bulan – bulan kritis pergerakan matahari, yaitu Maret, Juni, September, Oktober, Desember 2010. Data yang terkumpul di rata-rata menjadi data :

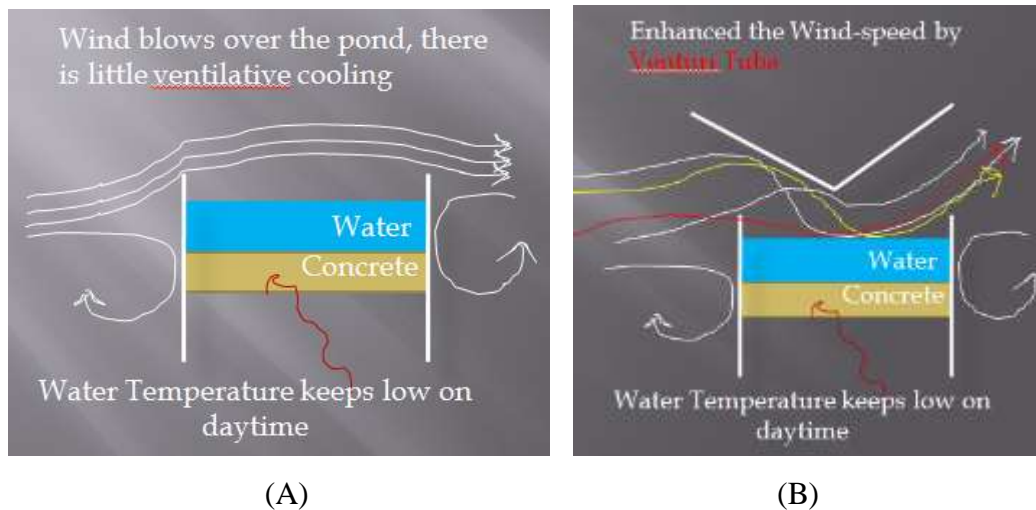
- Temperatur ruang dan air kolam rata-rata siang hari (pukul 06.00 – 18.00)
Daytime
- Temperatur ruang dan air kolam rata-rata malam hari (pukul 19.00 – 5.00)
Nighttime
- Temperatur ruang dan air kolam rata-rata harian selama 15 hari awal bulan terbuka tanpa pembayangan (*shading device*)
- Temperatur ruang dan air kolam rata-rata harian selama 15 hari akhir bulan tertutup dengan pembayangan (*shading device*)

Data rata-rata temperatur ruangan dan air kolam diatas dipetakan pada grafik, untuk mendapatkan tampilan perilaku temperatur ruang dari aplikasi-aplikasi atap beton konvensional, atap beton dengan *roofpond*, atap beton dengan *roofpond* pendingin angin (*Windpipes roofpond*).

4.7. Macam Pengukuran

Pengukuran perilaku termal dilakukan pada atap beton konvensional, atap beton dengan *roofpond*, atap beton dengan *windpipes roofpond* tersebut dengan 2 cara, yaitu : 15 hari awal bulan ketiga model di atur secara terbuka tanpa pembayangan (*no shading device*) kemudian diatur secara tertutup dengan pembayangan (*shading device* bentuk V) selama 15 hari akhir bulan.

Adapun pilihan bentuk alat pembayangan (*shading device*) berbentuk V dengan pertimbangan untuk lebih dapat mengarahkan aliran tiupan angin ke permukaan atap beton datar biasa maupun atap beton permukaan aie kolam. Sehingga temperatur permukaan beton dan air dapat lebih cepat menjadi dingin dari pada tidak diarahkan langsung ke permukaan atap (gambar 5).



Gambar 5: Atap tanpa penutup (A), Atap dengan penutup bentuk V (B)

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seiring dengan pemanasan radiasi matahari terbit setelah pukul 6 pagi, perilaku rata-rata temperatur ruang sepanjang tahun baik pada sistem atap beton air (*roofpond*) maupun atap beton konvensional dan atap beton air berpipa pendingin angin (*windpipes Roofpond*) akan mulai naik dan temperatur ruang paling panas terjadi pada pukul 14.00 kemudian menurun sampai paling dingin pada pukul 6.00 pagi. Kalau temperatur ruangan, temperatur air kolam dan *daily performances* dari masing-masing model (referensi, *roofpond* dan *windpipes roofpond*) diperbandingkan, maka terjadi perbedaan pada rata-rata temperatur ruang pada jam-jam ekstrem (pukul 14.00) pada rata-rata temperatur ruang bulan Maret, September, Juni dan Desember, akibat posisi pergerakan matahari dengan tempat pengamatan.

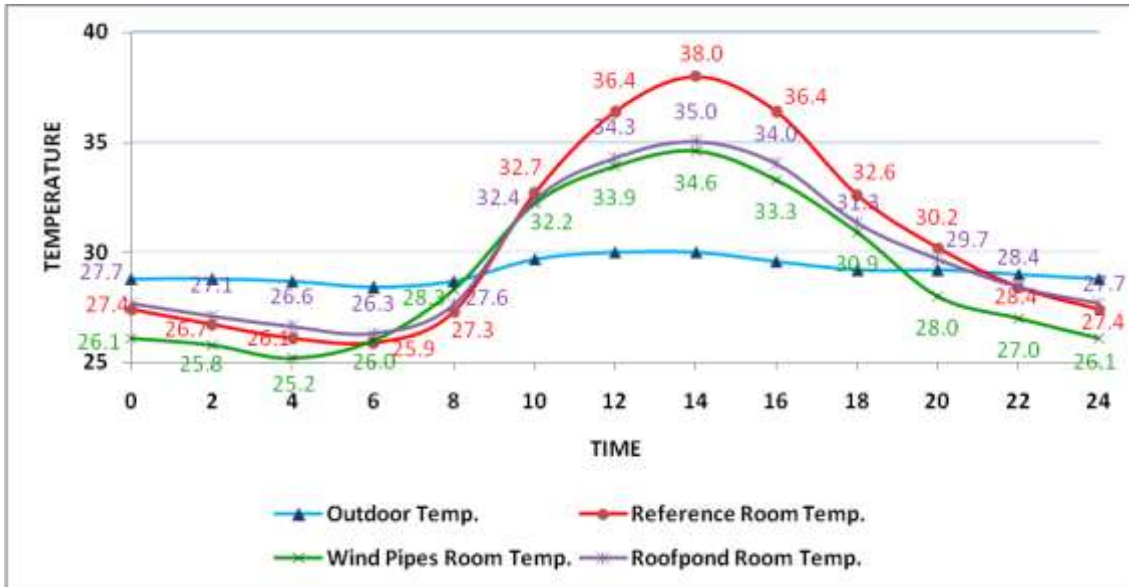
Hasil pengamatan dan pengukuran akan dibahas berdasarkan 2 kategori yaitu: model pengamatan dengan dan tanpa penutup atap (*sun shading devices*), kemudian masing-masing kategori akan dibahas: 1) temperatur ruangan, 2) temperatur air di kolam *roofpond*, 3) perilaku termal ruangan dan temperatur air kolam selama pagi hari (*average daytime*), 4) perilaku ruangan dan temperatur air kolam selama malam hari (*average nighttime performance*).

5.1. Hasil Pengukuran Tanpa Alat Pembayang Matahari (*sun shading devices*)

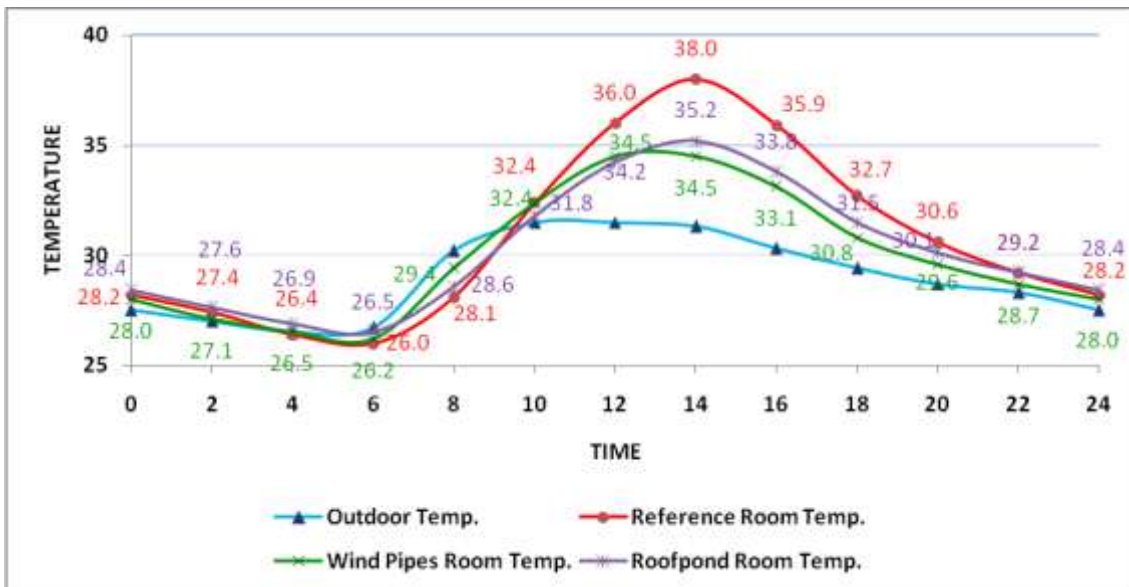
5.1.1. Temperatur Ruangan

Gambar 6 menunjukkan rata-rata temperatur ruang dengan ke 3 model yaitu model atap beton biasa (sebagai referensi), model *roofpond* dan model *windpipes roofpond* dan temperatur ruang luar ternaungi pada bulan Maret. Pada pukul 6.00, temperatur ruang *Windpipes Roofpond* lebih rendah 0.3°K dibandingkan *Roofpond* biasa tetapi lebih tinggi 0.1°K dari atap beton datar biasa. Sedangkan pada pukul 14.00 temperatur ruangan (terpanas) dengan *Windpipes Roofpond* lebih rendah 0.4°K dari *Roofpond* dan 3.4°K dari atap beton datar biasa. Demikian setelah pukul 18.00 sampai 6.00 pagi dimana temperatur ruang dari *Windpipes Roofpond* tetap merupakan yang terendah dari ke 2 sistem lainnya. Bahkan temperatur ruang luar merupakan temperatur

yang tertinggi dari ke 3 sistim aplikasi atap selama malam hari. Hal ini karena ke 3 model pakai sistim *Close mode* (tanpa ventilasi silang dan hanya *infiltration* pada celah-celah pintu), tidak ada beban panas baru (*internal heat: humans, lamps, appliances*) pada ruangan selama malam hari sedangkan proses pendinginan radiasi malam hari (*Skytherm*) berlangsung selama 12 jam.

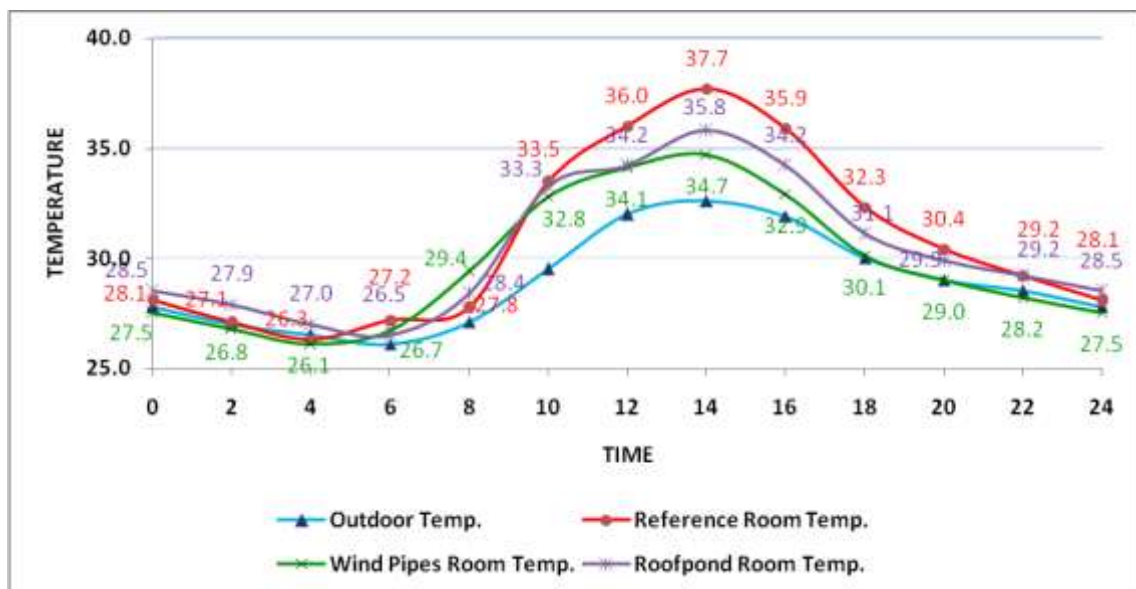


Gambar 6: Temperatur Ruangan Tanpa *Sun-shading* pada Maret 2011



Gambar 7: Temperatur Ruangan Tanpa *Sun-shading* pada Juni 2011

Pada gambar 7 dimana temperatur ruangan pukul 6.00 dan 14.00 pada *Windpipes roofpond* adalah 26.2°C dan 34.5°C; *Roofpond* 26.5°C dan 35.2°C; atap beton datar 26.°C dan 38.°C. Pada bulan Juni ini atap beton datar lebih dingin 0.2°K pada pagi pk. 6.00 tetapi tetap terpanas dan beda 3.5°K dari *Windpipes roofpond*. Tetapi temperatur ruang dari *Windpipes roofpond* merupakan tertinggi dari ke 2 sistim dari pukul 6.00 sampai 10.00 kemudian lebih tinggi hanya dari *roofpond* sampai pukul 12. Temperatur udara luar hampir terendah dari temperatur ruangan dari ke 3 sistim tersebut karena pada bulan Juni temperatur udara luar sedikit lebih sejuk.

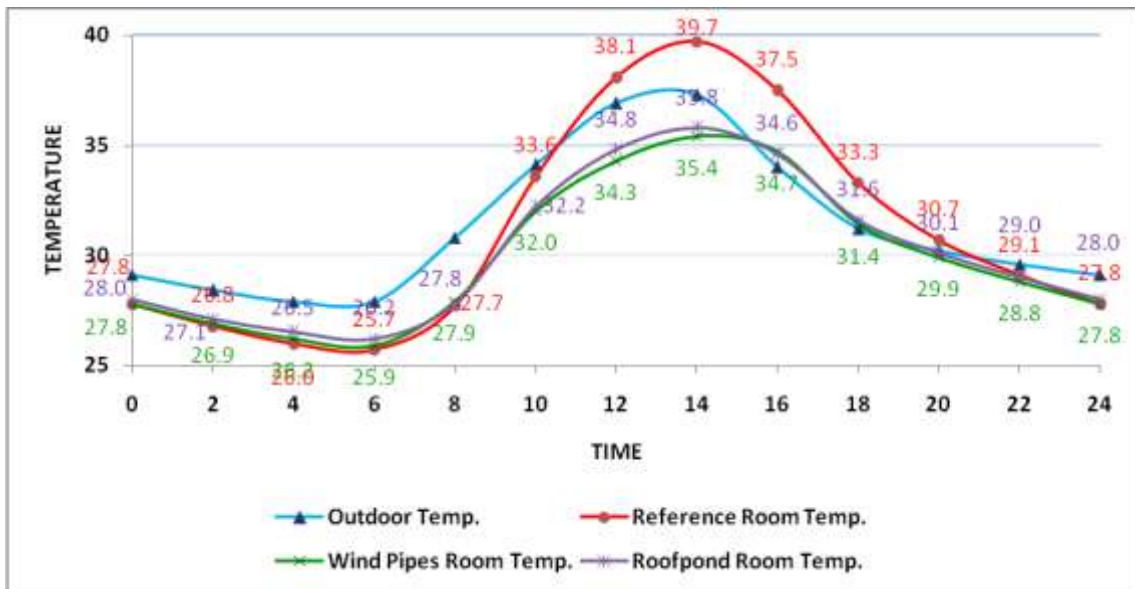


Gambar 8: Temperatur Ruangan Tanpa *Sun-shading* pada September 2011

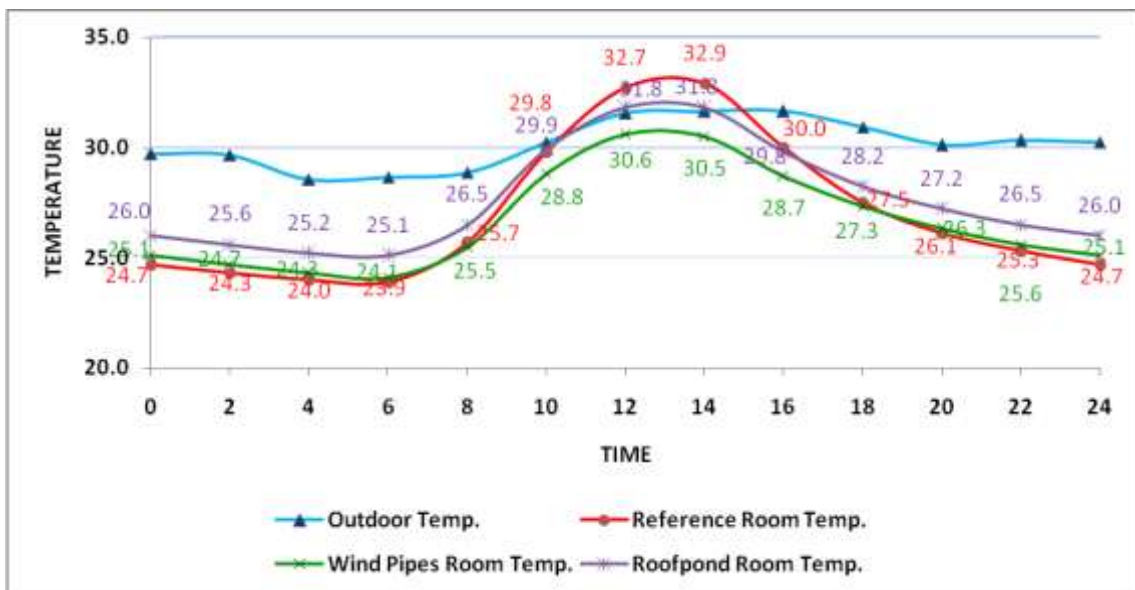
Sedangkan pada bulan September (gambar 8), suhu udara panas di Surabaya dan temperatur rata-rata ruang dengan *Windpipes Roofpond* pada pukul 14.00 tetap menunjukkan temperatur paling rendah dibandingkan 2 aplikasi lainnya, dimana perbedaan temperatur lebih rendah 3°K dengan atap beton datar konvensional dan 1.1°K dengan atap beton *Roofpond*. Tetapi temperatur ruang *Windpipes Roofpond* sempat meningkat tinggi setelah pukul 6.00 pagi hingga 9.00 dibandingkan dengan sistim *Roofpond* dan atap beton datar biasa, kemudian rendah sampai pukul 5.00 pagi.

Pada bulan Oktober (gambar 9) dimana suhu udara merupakan terpanas karena posisi matahari tepat tegak lurus terhadap posisi latitud Surabaya (7° 17' LS), sehingga temperatur udara luar sangat panas. Temperatur ruang pukul 6.00 pagi sistim *Windpipes*

roofpond masih dapat lebih rendah 0.5°K dari sistim *Roofpond* biasa tapi lebih tinggi 0.2°K dari sistim atap beton datar konvensional. Sistim *Windpipes roofpond* pada pukul 14.00 dimana temperatur ruang mencapai 35.4°C yang merupakan temperatur ruang yang tertinggi sepanjang tahun tapi lebih rendah 0.4°K dari sistim *Roofpond* dan 4.3°K dari sistim atap beton datar. Umumnya sistim *Windpipes roofpond* temperatur ruang lebih rendah dari ke 2 sistim aplikasi lainnya hampir sepanjang pagi dan malam kecuali lebih tinggi sedikit dari atap beton datar mulai pukul 2.00 pagi hingga pukul 8.00 pagi.

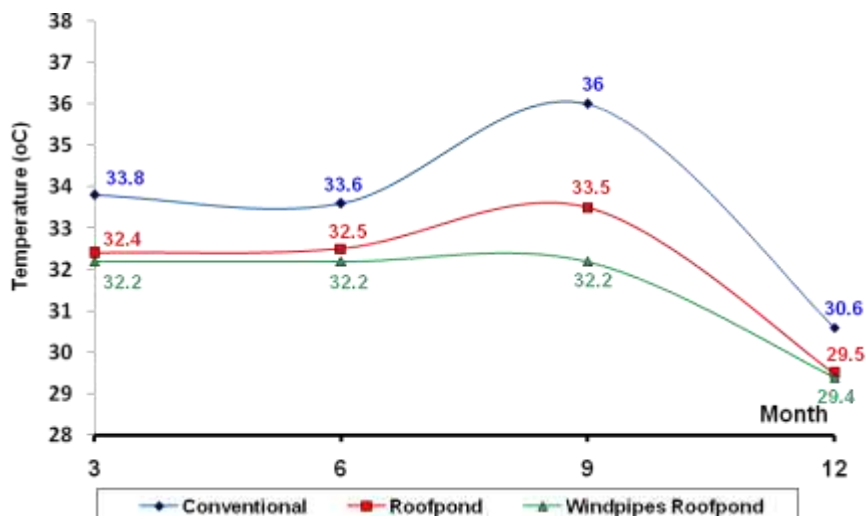


Gambar 9: Temperatur Ruangan Tanpa *Sun-shading* pada Oktober 2011

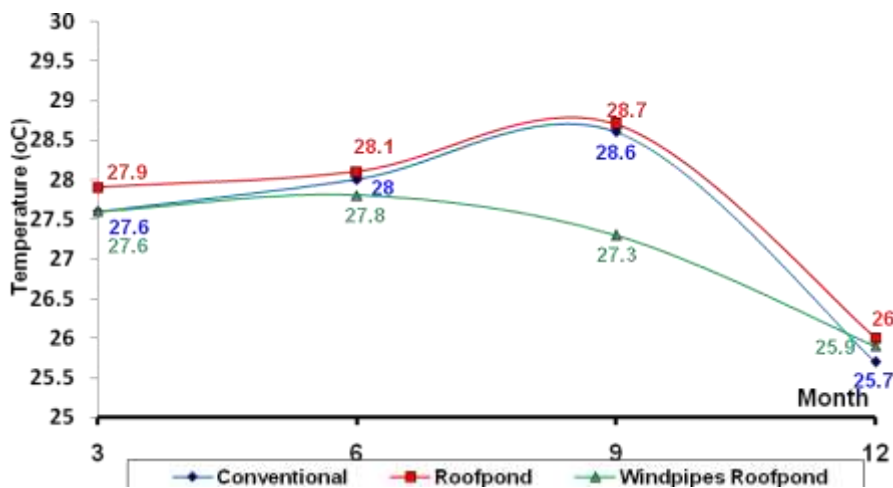


Gambar 10: Temperatur Ruangan Tanpa *Sun-shading* pada Desember 2011

Gambar 10 bulan Desember dimana ke 3 sistim aplikasi atap menunjukkan temperatur ruang rata-rata jauh lebih rendah dari pada bulan-bulan lainnya. Temperatur ruang sistim *Windpipes roofpond* pada pukul 14.00 hanya 30.5°C sedangkan atap beton datar konvensional 32.9°C dan *Roofpond* 31.8°C. Temperatur ruang rata-rata sistim atap *Windpipes Roofpond* pukul 6.00 pagi lebih tinggi 0.2°K dari atap beton datar biasa tapi lebih rendah 1°K dari sistim atap *Roofpond*. Temperatur rata-rata udara luar bulan Desember merupakan temperatur terendah ke 2 sepanjang tahun karena bulan Desember sering terjadi mendung (*cloudy*) dan kadang sering gerimis dan hujan ringan kecuali pada bulan Maret yang terendah karena masih musim hujan.



Gambar 11: Temperatur Ruangan Tanpa *Sun-shading* Selama Pagi Hari (*Daytime*)



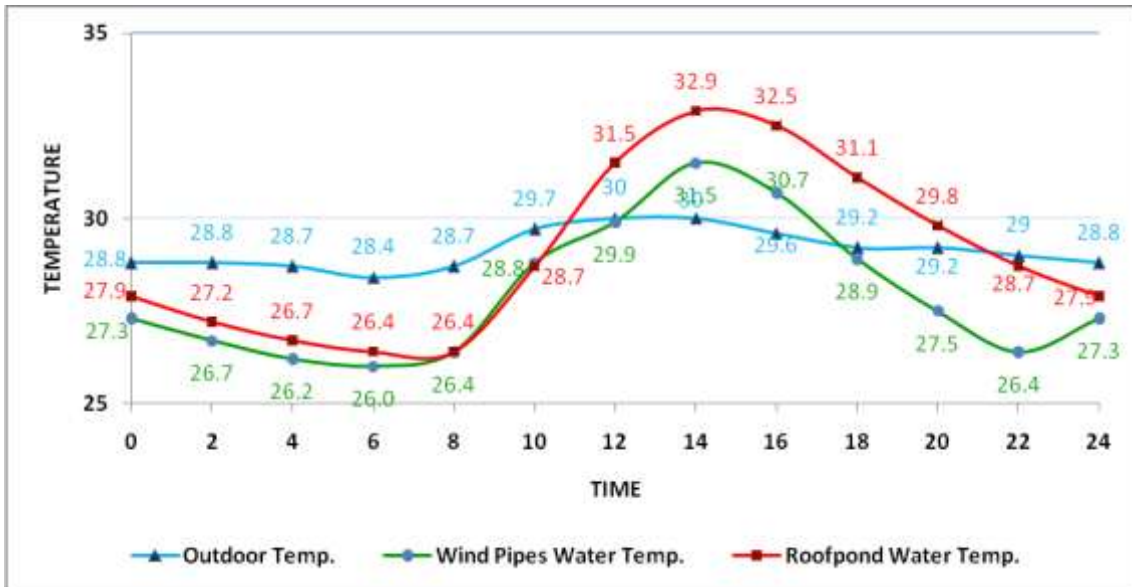
Gambar 12: Temperatur Ruangan Tanpa *Sun-shading* Selama Malam Hari (*Nighttime*)

Temperatur ruangan selama pagi hari (*Daytime performance*) dengan atap *Windpipes Roofpond* lebih rendah dari atap *Roofpond* dan atap beton datar konvensional sepanjang tahun (Maret, Juni, September dan Desember) (gambar 11). Atap *Windpipes roofpond* dapat lebih rendah 0.2°K terhadap atap *Roofpond* dan 1.6°K atap beton datar di bulan Maret. Lebih rendah 0.3°K dan 1.4°K terhadap atap *Roofpond* dan atap beton datar di bulan Juni. Sedangkan di bulan September *Windpipes roofpond* dapat berbeda jauh lebih rendah terhadap *Roofpond* dan atap beton datar sebesar 1.3°K dan 3.8°K. Di bulan Desember, *Windpipes roofpond* cuma lebih rendah 0.1°K ke atap *Roofpond* dan 1.2°K ke atap beton datar.

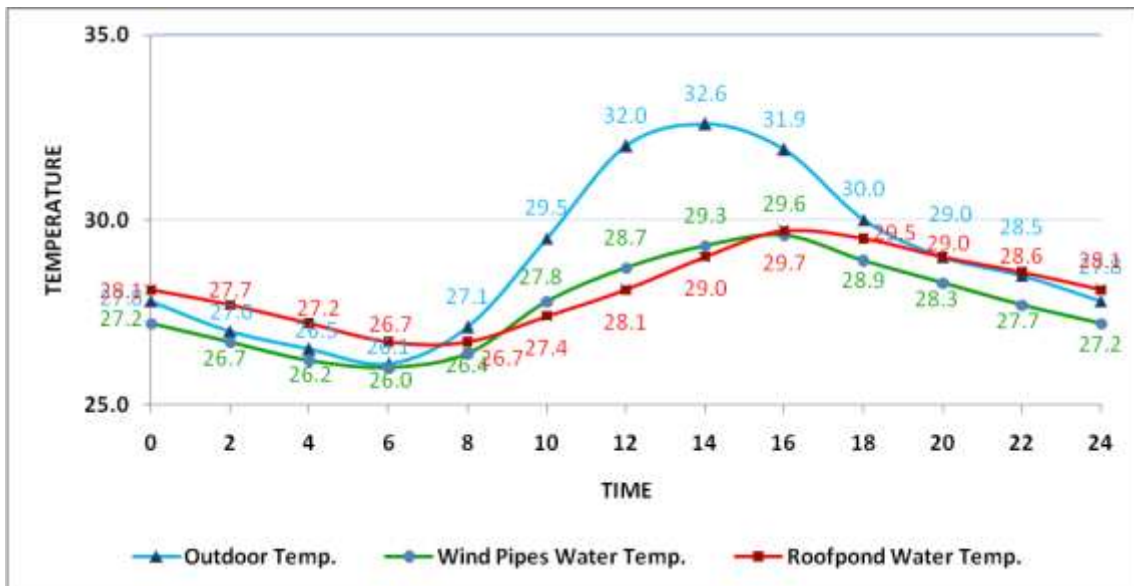
Pada gambar 12 menunjukkan situasi perilaku temperatur ruangan selama malam hari (*nighttime performance*) sepanjang tahun. Perilaku termal ruangan dengan atap *Windpipes roofpond* terhadap atap *Roofpond* di Maret cuma lebih rendah 0.1°K dan 0.3°K terhadap atap beton datar. Demikian juga di bulan Juni dimana *Windpipes roofpond* lebih rendah 0.2°K (*Roofpond*) dan 0.3°K (atap beton datar). Di bulan September dimana suhu kota Surabaya panas sekali ini justru perilaku termal ruangan dengan atap *Windpipes roofpond* dapat lebih rendah 1.3°K dibandingkan atap *Roofpond* dan 1.4°K atap beton datar biasa. Hanya di bulan Desember termal ruangan atap *Windpipes roofpond* lebih tinggi 0.2°K terhadap atap beton datar biasa dan lebih rendah 0.3°K terhadap atap *Roofpond*.

5.1.2. Temperatur Air Kolam *Windpipes Roofpond* dan *Roofpond* Biasa

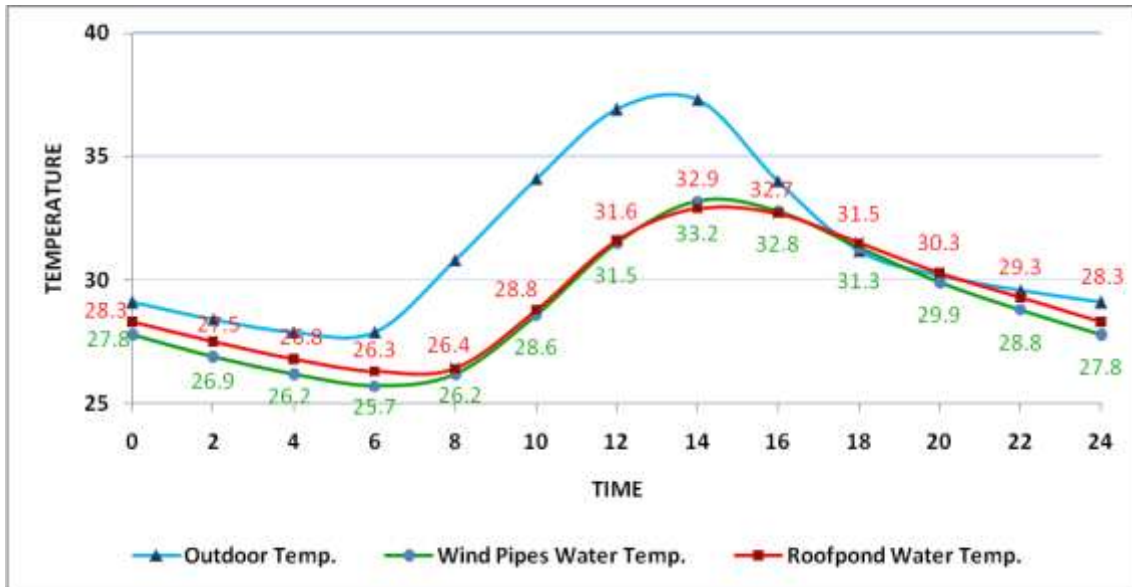
Gambar 13 menunjukkan temperatur rata-rata air di atap kolam sistim *Windpipes Roofpond* dan *Roofpond* biasa. Hanya 6 jam dari pukul 12.00 pagi sampai 18.00 sore temperatur air dari ke 2 sistim aplikasi atap air yang temperatur airnya lebih tinggi dari pada temperatur udara luar, setelah itu temperatur air ke 2 sistim atap air tersebut dapat lebih rendah dari temperatur udara luar di malam hari. Temperatur air sistim *Windpipes roofpond* pada pukul 6.00 pagi lebih rendah 0.4°K dari atap sistim *Roofpond*. Temperatur air meningkat puncak terjadi pukul 14.00 siang dimana *Windpipes roofpond* tetap masih jauh lebih rendah 1.4°K dari atap *Roofpond*. Atap *Windpipes roofpond* beda 2.4°K dari atap *Roofpond* pada pukul 20.00 malam.



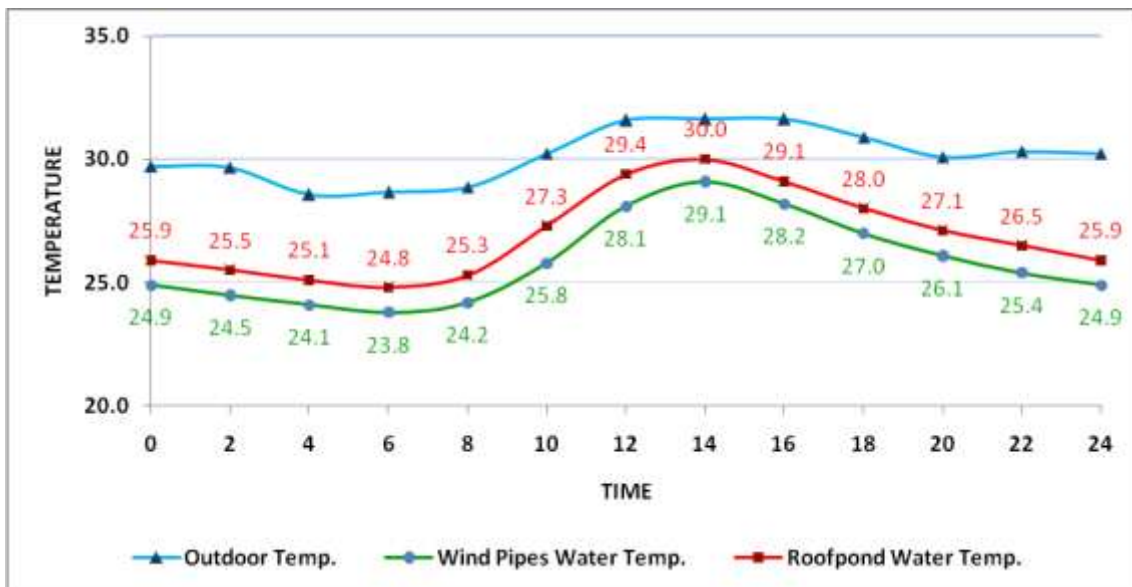
Gambar 13: Temperatur Air Kolam Tanpa Sun-shading Bulan Maret 2011



Gambar 14: Temperatur Air Kolam Tanpa Sun-shading Bulan September 2011



Gambar 15: Temperatur Air Kolam Tanpa *Sun-shading* Bulan Oktober 2011



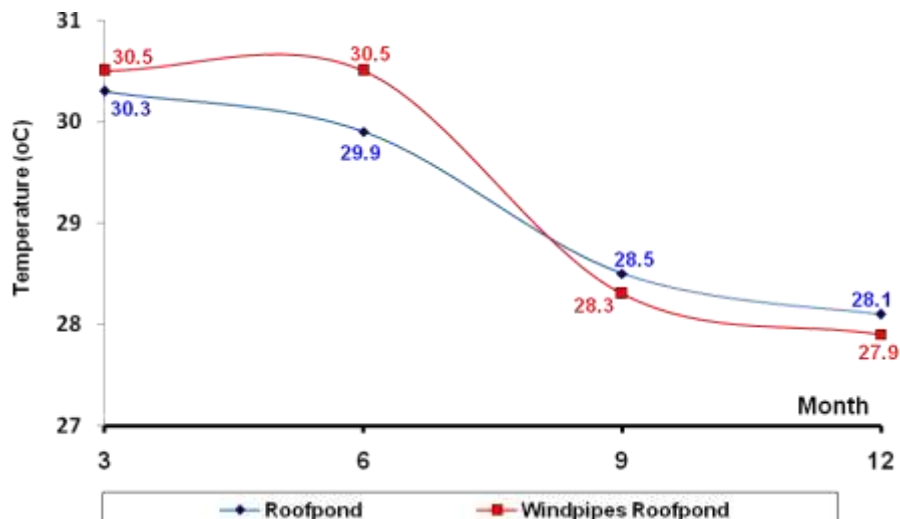
Gambar 16: Temperatur Air Kolam Tanpa *Sun-shading* Bulan Desember 2011

Temperatur air kolam *Windpipes Roofpond* prilakunya termalnya lebih tinggi dari *Roofpond* sejak pukul 9.00 pagi hingga 16.00 siang dimana perbedaan temperatur air kolam *Windpipes roofpond* dengan *Roofpond* sekitar 0.1°K - 0.4°K . Setelah itu perilaku termal air kolam *Windpipes* dari pukul 16.00 sore hingga 7.00 pagi hari lebih rendah dari *Roofpond* (gambar 14).

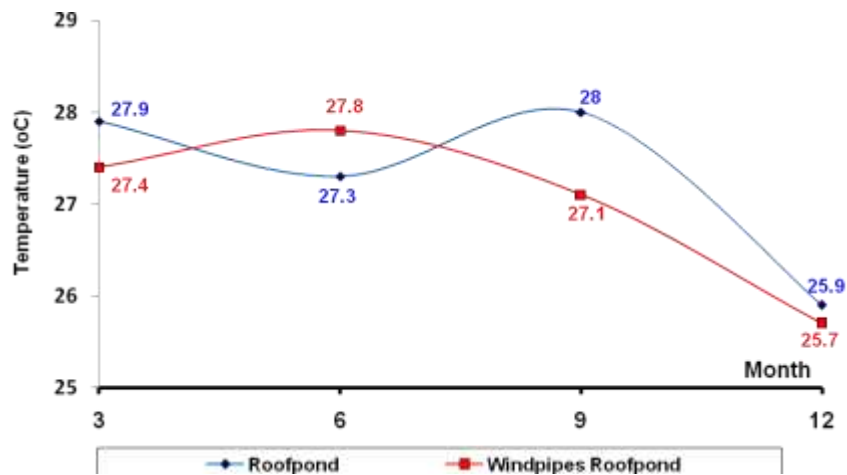
Gambar 15 memperlihatkan perilaku termal air kolam *Windpipes roofpond* dengan *Roofpond* dimana kedua temperatur air hampir sama cuma terpaut sekitar 0.1°K – 0.2°K dari pukul 8.00 pagi hingga 18.00 sore. Pukul 6.00 pagi *Windpipes roofpond* 25.7°C banding *Roofpond* 26.3°C . Perbedaan temperatur air 1°K pada pukul 2.00 – 4.00 pagi dari *Windpipes roofpond* ke *Roofpond*.

Temperatur air atap *Windpipes Roofpond* dengan *Roofpond* pada bulan Desember berbeda 1°K dari malam 0.00 – 23.00 malam berikutnya. Perbedaan Temperatur air berjalan hampir paralel (gambar 16).

Pada gambar 17 menunjukkan perilaku temperatur air kolam dari pukul 6.00 pagi hingga 18.00 sore hari (*Daytime performance*). Temperatur air *Windpipes Roofpond* pada bulan Maret hingga Juni perilaku termal lebih tinggi 0.2°K selama Maret dan 0.6°K di bulan Juni daripada termal air atap *Roofpond* tetapi temperatur air rata-rata di September dan Desember lebih rendah 0.2°K dibandingkan atap air *Roofpond*. Fenomena rendahnya temperatur air *Windpipes Roofpond* dibandingkan atap air *Roofpond* dari September hingga Desember lebih menguntungkan karena di bulan September dan Oktober suhu Surabaya paling panas.



Gambar 17: Temperatur Air Kolam *Windpipes* dan *Roofpond* pada “*Daytime*”



Gambar 18: Temperatur Air Kolam *Windpipes* dan *Roofpond* pada “*Nighttime*”

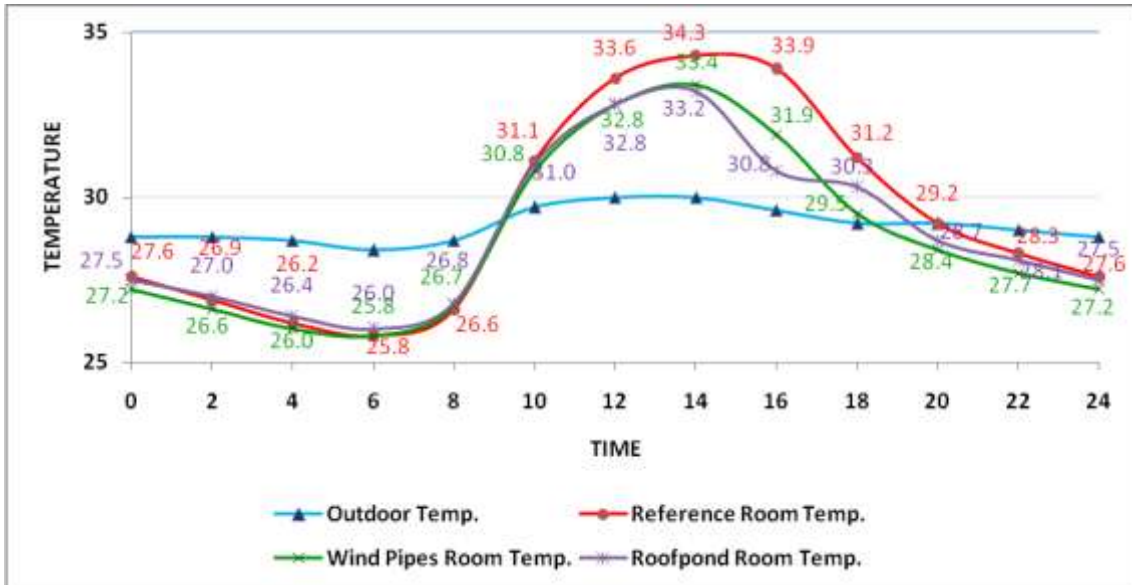
Pada gambar 18 dimana perilaku temperatur air *Windpipes roofpond* selama malam hari dari pukul 18.00 sore hingga 6.00 pagi (*nighttime performace*) lebih baik daripada *Roofpond*. Temperatur air *Windpipes roofpond* dibandingkan *Roofpond* lebih rendah 0.5°K di bulan Maret dan 0.9°K di bulan September kemudian 0.2°K di bulan Desember tetapi lebih tinggi 0.5°K hanya di bulan Juni.

5.2. Hasil Pengukuran Dengan Alat Pembayang Matahari (*sun shading devices*)

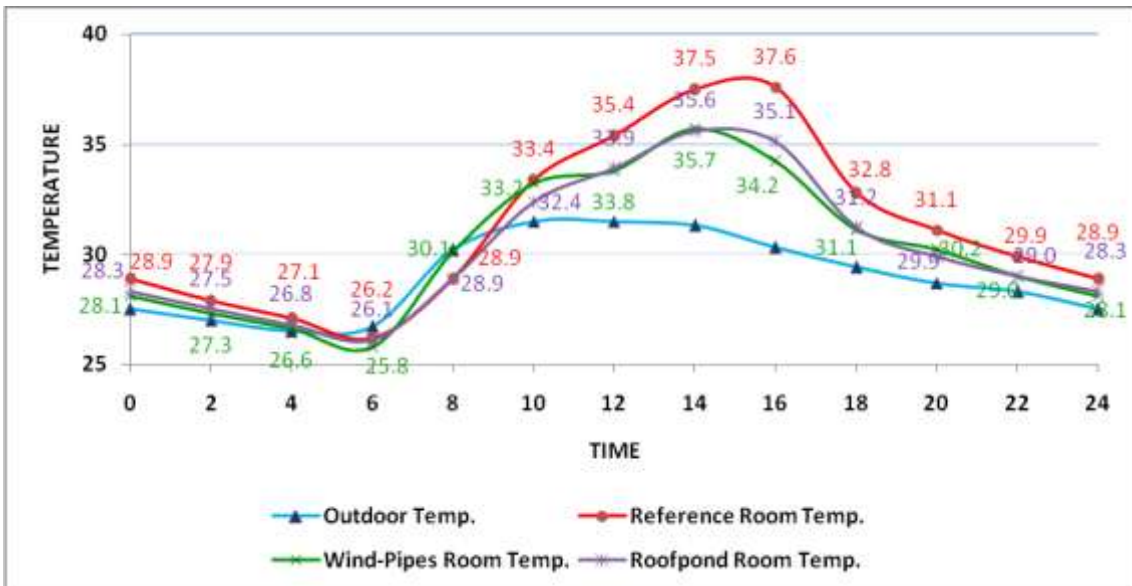
5.2.1. Temperatur Ruangan

Gambar 19 menunjukkan rata-rata temperatur ruang dengan ke 3 model yaitu model atap beton biasa (sebagai referensi), model *roofpond* dan model *windpipes roofpond* dan temperatur ruang luar ternaungi pada bulan Maret. Pada pukul 6.00, temperatur ruang *Windpipes Roofpond* lebih rendah 0.2°K dibandingkan *Roofpond* biasa tetapi sama dengan atap beton datar biasa. Sedangkan pada pukul 14.00 temperatur ruangan (terpanas) dengan *Windpipes Roofpond* lebih tinggi 0.2°K dari *Roofpond* dan lebih rendah 0.9°K dari atap beton datar biasa. Demikian setelah pukul 18.00 sampai 6.00 pagi dimana temperatur ruang dari *Windpipes Roofpond* tetap merupakan yang terendah dari ke 2 sistim lainnya. Bahkan temperatur ruang luar merupakan temperatur yang tertinggi dari ke 3 sistim aplikasi atap selama malam hari. Hal ini karena ke 3 model pakai sistim *Close mode* (tanpa ventilasi silang dan hanya *infiltration* pada celah-

celah pintu), tidak ada beban panas baru (*internal heat: humans, lamps, appliances*) pada ruangan selama malam hari sedangkan proses pendinginan radiasi malam hari (*Skytherm*) berlangsung selama 12 jam.

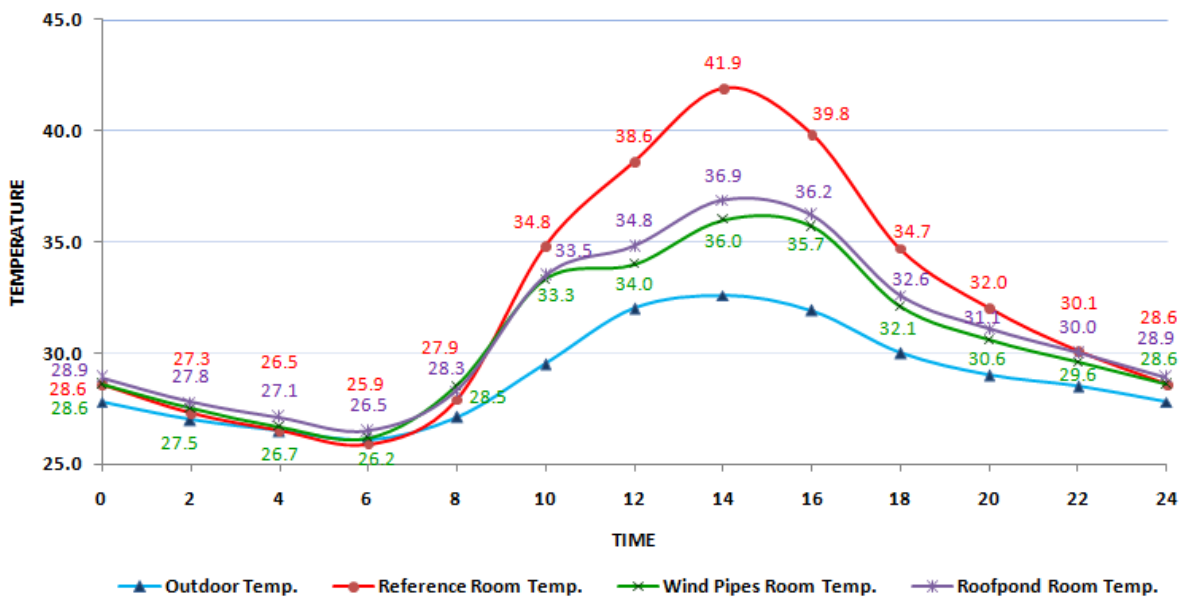


Gambar 19: Temperatur Ruangan Pakai Sun-shading pada Maret 2011



Gambar 20: Temperatur Ruangan Pakai Sun-shading pada Juni 2011

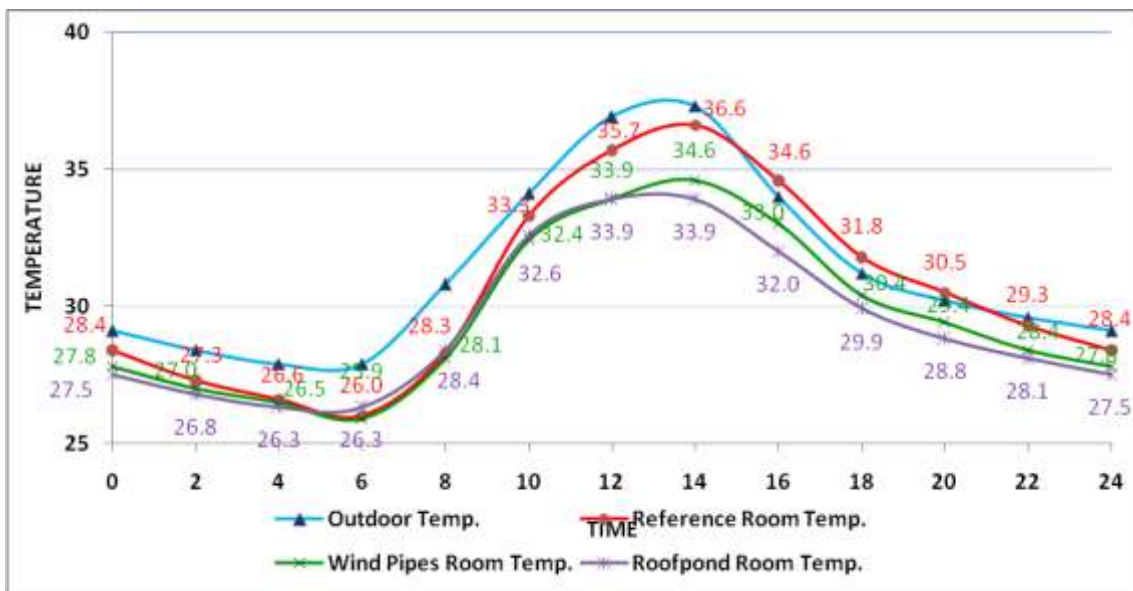
Pada gambar 20 dimana temperatur ruangan pukul 6.00 dan 14.00 pada *Windpipes roofpond* adalah 25.8°C dan 35.6°C; *Roofpond* 26.1°C dan 35.7°C; atap beton datar 26.2°C dan 37.5°C. Pada bulan Juni ini atap *Windpipes roofpond* lebih dingin 0.3°K pada pagi pk. 6.00 dari atap *Roofpond*. Tetapi temperatur ruang dari *Windpipes roofpond* merupakan tertinggi dari ke 2 sistim setelah lebih dari pukul 6.00 sampai 10.00 kemudian lebih tinggi 0.1°K dari *roofpond* sampai pukul 12. Temperatur udara luar mulai pukul 8.00 pagi hingga pukul 4.00 pagi terendah dari temperatur ruangan dari ke 3 sistim tersebut karena pada bulan Juni temperatur udara luar mulai sedikit lebih sejuk.



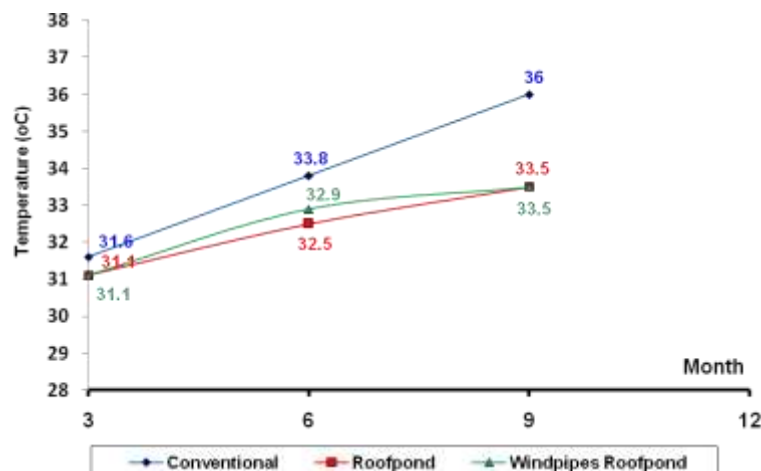
Gambar 21: Temperatur Ruangan Pakai *Sun-shading* pada September 2011

Sedangkan pada bulan September (gambar 21), suhu udara panas di Surabaya dan temperatur rata-rata ruang dengan *Windpipes Roofpond* pada pukul 14.00 tetap menunjukkan temperatur paling rendah dibandingkan 2 aplikasi lainnya, dimana perbedaan temperatur lebih rendah 4.9°K dengan atap beton datar konvensional dan 0.9°K dengan atap beton *Roofpond*. Tetapi temperatur ruang *Windpipes Roofpond* sempat meningkat tinggi setelah pukul 6.00 pagi hingga 9.00 dibandingkan dengan sistim *Roofpond* dan atap beton datar biasa, kemudian rendah sampai pukul 24.00 pagi.

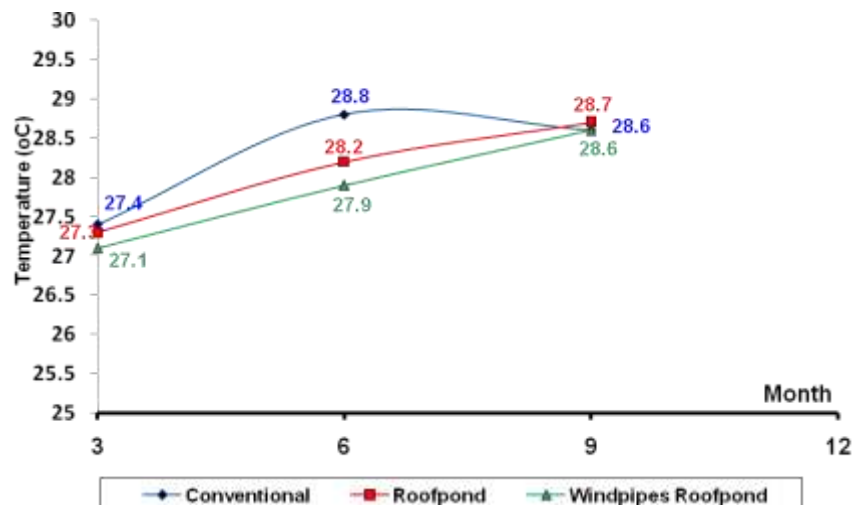
Pada bulan Oktober (gambar 22) suhu udara merupakan terpanas karena posisi matahari tepat tegak lurus terhadap posisi Surabaya ($7^{\circ} 17' \text{ LS}$), sehingga temperatur udara luar sangat panas. Temperatur ruang pukul 6.00 pagi sistim *Windpipes roofpond* masih dapat lebih rendah 0.4°K dari sistim *Roofpond* biasa dan 0.1°K dari sistim atap beton datar konvensional. Sistim *Windpipes roofpond* pada pukul 14.00 dimana temperatur ruang mencapai 34.6°C lebih tinggi 0.7°K dari sistim *Roofpond* dan lebih rendah 2°K dari sistim atap beton datar. Di bulan Oktober dengan *sun-shading* ini sistim atap *Windpipes Roofpond* yang temperatur ruang bisa lebih tinggi dari *Roofpond* tapi lebih rendah dari atap beton datar biasa dari pukul 12.00 siang hingga pukul 4 pagi.



Gambar 22: Temperatur Ruangan Pakai *Sun-shading* pada Oktober 2011



Gambar 23: Temperatur Ruangan Dengan *Sun-shading* Selama Pagi Hari (*Daytime*)



Gambar 24: Temperatur Ruang Tanpa *Sun-shading* Selama Malam Hari (*Nighttime*)

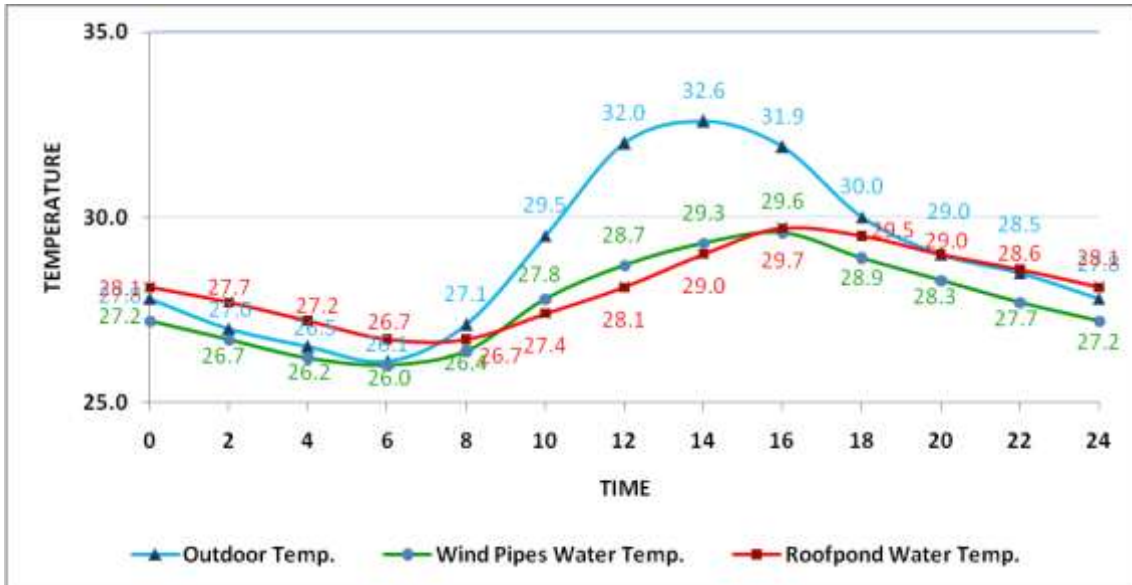
Temperatur ruangan selama pagi hari (*Daytime performance*) dengan atap *Windpipes Roofpond* lebih tinggi dari atap *Roofpond* tapi lebih rendah dari atap beton datar konvensional sepanjang tahun (Maret, Juni, September) (gambar 23). Temperatur ruangan atap *Windpipes roofpond* hanya lebih tinggi 0.4°K terhadap atap *Roofpond* pada bulan Juni tetapi sama temperaturnya 31.0°C di bulan Maret dan 33.5°C di bulan September. Temperatur ruangan dengan atap beton datar masih tertinggi sepanjang tahun.

Pada gambar 24 menggambarkan situasi perilaku temperatur ruangan selama malam hari (*nighttime performance*) sepanjang tahun. Perilaku termal ruangan dengan atap *Windpipes roofpond* terhadap atap *Roofpond* di Maret lebih rendah 0.2°K dan 0.3°K terhadap atap beton datar. Demikian juga di bulan Juni dimana *Windpipes roofpond* lebih rendah 0.3°K (*Roofpond*) dan 0.9°K (atap beton datar). Di bulan September dimana suhu kota Surabaya panas sekali ini perilaku termal ruangan dengan atap *Windpipes roofpond* sama dengan atap *Roofpond* yaitu 28.6°C dan hanya beda 0.1°K dengan atap beton datar biasa.

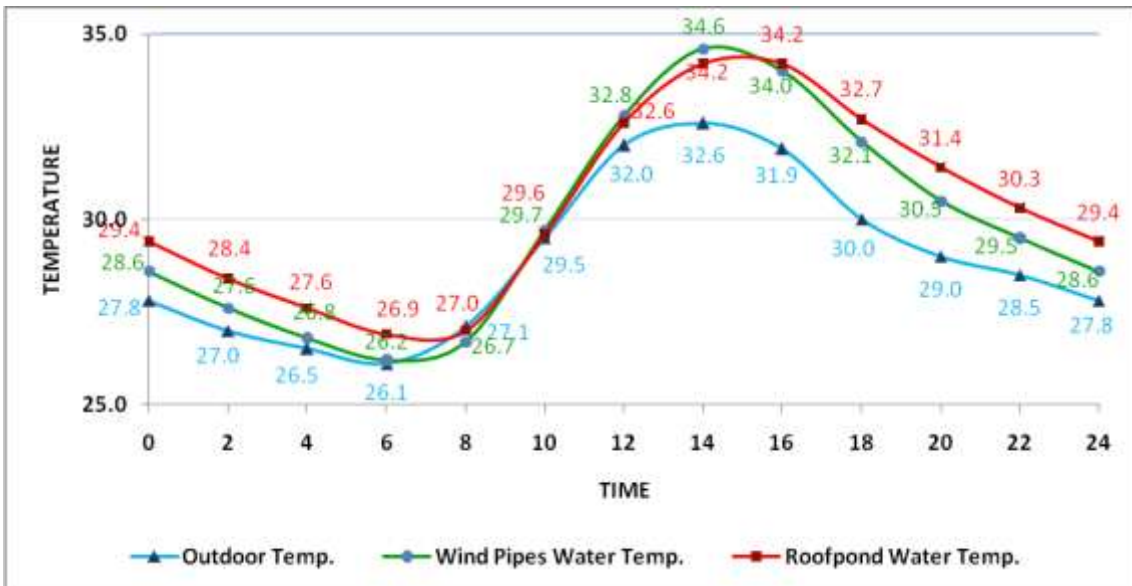
5.2.2. Temperatur Air Kolam *Windpipes Roofpond* dan *Roofpond* Biasa

Gambar 25 menunjukkan temperatur rata-rata air di atap kolam sistim *Windpipes Roofpond* dan *Roofpond* biasa. Temperatur air sistim *Windpipes roofpond* pada pukul

6.00 pagi lebih rendah 0.1°K dari atap sistim *Roofpond*. Temperatur air *Windpipes roofpond* meningkat mulai pukul 10.00 pagi sampai pukul 20.00 dimana lebih tinggi 0.6°K dari atap *Roofpond* pada pukul 14.00.



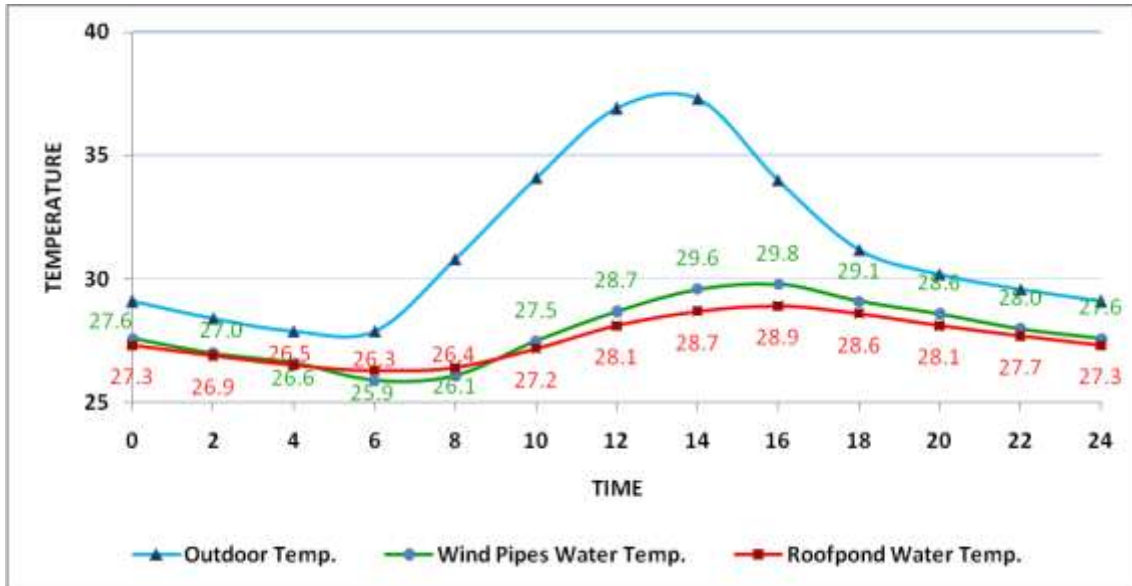
Gambar 25: Temperatur Air Kolam dengan *Sun-shading* Bulan Maret 2011



Gambar 26: Temperatur Air Kolam dengan *Sun-shading* Bulan September 2011

Temperatur air kolam sistim atap *Windpipes Roofpond* prilakunya termalnya lebih tinggi dari *Roofpond* sejak pukul 10.00 pagi hingga 16.00 siang dimana perbedaan

temperatur air kolam *Windpipes roofpond* dengan *Roofpond* sekitar $0.1^{\circ}\text{K} - 0.2^{\circ}\text{K}$. Setelah itu perilaku termal air kolam *Windpipes roofpond* dari pukul 16.00 sore hingga 8.00 pagi hari lebih rendah dari *Roofpond* dengan perbedaan temperatur berkisar sekitar $0.6^{\circ}\text{K} - 0.8^{\circ}\text{K}$ (gambar 26).



Gambar 27: Temperatur Air Kolam dengan *Sun-shading* Bulan Oktober 2011

Gambar 27 memperlihatkan perilaku termal air kolam dengan atap *Windpipes roofpond* dan *Roofpond* dimana temperatur air *Windpipes roofpond* tetap lebih tinggi dari pukul 9.00 pagi sampai pukul 5.00 pagi. Temperatur air di kolam atap *Windpipes Roofpond* hanya lebih rendah dari atap *Roofpond* biasa sebesar 0.4°K di pukul 6.00 pagi dan 0.3°K di pukul 8.00, selanjutnya lebih tinggi. Perbedaan temperatur air atap *Windpipes roofpond* dengan atap *Roofpond* dari pukul 9.00 sampai 18.00 sore berkisar sekitar $0.3^{\circ}\text{K} - 0.9^{\circ}\text{K}$.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian sistim atap beton datar berair (*roofpond*) telah dilakukan oleh tim kami tahun lalu pada iklim tropis lembab di Surabaya dan hasilnya dapat tergolong bekerja dengan baik daripada sistim atap beton datar biasa tanpa insulasi pada ruko-ruko, rukan dan rumah dengan atap beton datar maupun miring. Dari hasil penelitian yang lalu bahwa suhu ruangan sistim *Roofpond* dapat lebih rendah 1.4°C ; 1.1°C ; 2.2°C dan 1.1°C pada bulan Maret, Juni, September dan Desember tahun 2010 dibandingkan atap beton datar biasa dan atap air kolam pipa air mengalir. Cukup banyak terjadi perbedaan suhu ruang sebesar 2.2°C pada saat Surabaya mengalami suhu yang panas pada bulan September dan hingga Desember yang akan merupakan awal musim hujan, hal ini berarti *Roofpond* dapat mereduksi panas solar radiasi matahari horizontal melalui atap ke ruangan rata-rata sebesar 2.2°C .

Penelitian dengan *Windpipes Roofpond* sangat diharapkan bahwa sistim ini dapat mempercepat pendinginan temperatur air kolam atap *roofpond* sehingga termal ruangan juga ikut rendah. Kenyataan perilaku *windpipes roofpond* dapat membantu mempercepat pendinginan temperatur air kolam justru pada saat suhu Surabaya di bulan-bulan sangat panas yaitu bulan September sampai Desember. Perbedaan temperatur air kolam pada pagi hari sebesar 0.2°K dan 0.9°K pada malam hari (lihat gambar 17 dan 18). *Windpipes roofpond* sangat bantu pendinginan air kolam yang tebal airnya 30 cm; penelitian terdahulu pada air atap *Roofpond* biasa 30 cm ternyata lebih lambat temperatur air menjadi rendah dari pada temperatur atap beton datar biasa pada malam hari sehingga perilaku termal ruangan terpengaruhi di pagi hari. Rendahnya temperatur ruangan lebih nyata efeknya dengan atap sistim *Windpipes roofpond* karena ternyata air kolam sistim *Windpipes roofpond* rendah sehingga menyebabkan termal ruangan lebih rendah dibandingkan 2 sistim lain yaitu atap *Roofpond* biasa dan atap beton datar sepanjang tahun baik perilaku “*daytime*” yaitu selisih sekitar 0.2°K (Maret, Juni) sampai 1.3°K (September) dari atap *Roofpond* dan 1.6°K (Maret, Juni) dan 3.8°K di September dibandingkan dengan atap beton datar biasa. Begitu juga perilaku pada

“*nighttime*”, perbedaan temperatur di September dapat sebesar 1.3°K (*Roofpond*) dan 1.4°K (Beton datar biasa) [lihat gambar 11 dan 12].

Sistim atap *Windpipes Roofpond* lebih baik kinerja mengurangi termal atap dan ruangan dari pada sistim atap lain (*Roofpond* dan beton datar) Selain pengurangan temperatur ruangan dan air kolam pada perilaku *daytime* dan *nighttime*, hasil pengukuran temperatur ruangan dan air kolam sistim *Windpipes Roofpond* lebih efektif, cepat dan menurunkan suhu harian selama 24 jam pada bulan-bulan kritis: Maret, Juni, September, Oktober dan Desember (lihat gambar 6 sampai 10; gambar 13 sampai 16; gambar 19 sampai 22, gambar 25 sampai 27).

Penelitian dengan variasi/modifikasi lain *Roofpond* mungkin dapat dilakukan dengan aplikasi ruangan nyata dengan sistim reduksi dinding bata dan plesteran yang lazim sehingga radiasi panas melalui dinding dapat minimal dan beban radiasi melalui atap dengan *Roofpond* dapat terdeteksi lebih konkrit dan tepat.

Kekurangan *Windpipes Roofpond* terletak pada selain beratnya atap beton yang berair ditambah berat pipa-pipa gas berdiameter sekurang-kurangnya 10 cm sehingga total beban konstruksi atap menjadi besar dan berat, pemberian waterproofing pada atap datar beton harus tepat dan hati-hati terhadap kebocoran atap beton datar, mudah berlumut dan terjadi sarang jentik-jentik nyamuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruno, Frank (2004). *Using Phase Change Materials (PCMs) for Space Heating and Cooling in Buildings*. Paper for AIRAH Performance Enhanced Buildings Environmentally Sustainable Design Conference
- Evan, Martin (1980), *Housing, Climate and Comfort*
- Givoni, Baruch (1998), *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, New York
- Hasnain, S.M. (1988). Review on Sustainable Thermal Energy Storage Technologies, Part 1:Heat Storage Materials and techniques. *Energy Conversion & Management* **39**:1127-38
- Jain, D. (2006). Modeling of Solar Passive Techniques for Roof Cooling in Arid Regions. *Building and Environment* **41**:277-287
- Kharrufa, Sahar N. & Yahyah Adil. Roofpond Cooling of Buildings in Hot Arid Climate. *Building and Environment*, **43**:82-89
- Mintorogo, Danny S. (2008). *Horizontal and Vertical Heat Solar Sun Radiation Intensity in Surabaya*. Un-published Research paper at Petra Christian University of Surabaya
- Nahar NM et al. (1999). Studies on Solar Passive Cooling Techniques for Arid Areas. *Energy Conversion & Management* **38**:89-95
- Nahar NM, et al. (2003). Performance of Different Passive Techniques for Cooling of Buildings in Arid Regions. *Building and Environment* **38**:109-16
- Olgyay, Victor (1963). *Design with Climate*. Van Nostrand Reinhold, New York
- Ravikumar, M. & Srinivasan, P.S. (2012). Heat Transfer Analysis in PCM Filled RCC Roof for Thermal Management. *Engineering and Applied Sciences* **7** (1):32-38
- Spanaki, A. (2007). *Comparative Studies on Different Type of Roofponds for Cooling Purposes: Literature Review*. 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, September 2007, Crete Island, Greece

- Tang, Runsheng & Y. Etzion (2005). Cooling Performance of Roofponds with Gunny Bags Floating on Water Surface as Compared with a Moveable Insulation. *Renewable Energy* **30**:1373-1385
- Wang, Ping et al. (2007). *Energy Analysis of Ventilated Roof with Extended Top in Hot Regions*. Proceedings: Building Simulation
- Yannas, S. et al. (2006). *Roof Cooling Techniques: A Design Handbook*, Earthscan, James & James

BIAYA PENELITIAN

1. Biaya dari anggaran penelitian Fakultas Teknik dan Jurusan Arsitektur, tahun anggaran 2011-2012:

• Material clear sealant, waterproofing	Rp. 2.200.000,-	
• <u>Perbaikan 2 unit model</u>	<u>Rp. 2.800.000,-</u>	<u>+</u>
T o t a l	Rp. 5.000.000,-	

2. Biaya yang tidak diperhitungkan karena memakai ATK rutin
 - Kertas
 - Penjilitan laporan