

**LAPORAN PENELITIAN**

**No. 00 /Pen/Arsitektur//2011**

**EFEKTIVITAS VARIASI SISTIM “*ROOFPOND*”  
MEREDUKSI TERMAL ATAP BETON DATAR DI 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**

**2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

1. a. Judul : Efektivitas Variasi Sistem “*Roofpond*” Mereduksi Termal Atap Beton Datar di Surabaya
2. b. Nomor Penelitian : 0 /Pen/Arsitektur/2010
- c. Bidang Ilmu : Sains Arsitektur
3. Ketua Peneliti
  - a. Nama Lengkap dan Gelar : Ir. Danny Santoso Minto, 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 2010 – Januari 2011
7. Biaya
  - a. Sumber dari UK Petra : Rp. 20.500.000,-
  - b. Sumber lainnya :
  - Total : Rp. 20.500.000,-

Surabaya, 11 Agustus 2011

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Arsitektur

Ketua Peneliti,

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

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

Menyetujui:  
Dekan FTSP,

Ir. Handoko Sugiharto, MT.  
NIP: 84028

## Abstrak

Atap beton datar banyak dipergunakan pada pertokoan, shopping mal gedung perkantoran, perhotelan bahkan seperti ruko dan rukan serta rumah-rumah dimana lahan atap beton yang datar merupakan ruang luar yang dapat dimanfaatkan untuk utilitas bangunan, *landscape* dan tambahan ruangan bila diperlukan (fleksibilitas tinggi). Tetapi radiasi solar matahari dekat ekuator (Surabaya sekitar 7° S) dan tropis sangat tinggi hingga rata-rata solar radiasi horisontal di musim penghujan sebesar 363 Wh.m<sup>2</sup> dan 396 Wh.m<sup>2</sup> di musim kemarau. Konsentrasi solar radiasi tersebut dapat memanaskan atap-atap beton datar tersebut sehingga akan menambah beban pendinginan ruangan maupun mengurangi *thermal comfort*. *Roofpond* dan modifikasi atap beton datar berair + *Water Condenser* adalah untuk mengurangi beban solar radiasi matahari melalui atap.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja termal atap beton datar *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 yang penutup atas 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 mereduksi solar radiasi atap sepanjang tahun, terlebih pada bulan September – Desember dimana suhu udara merupakan terpanas di Surabaya. Sistim *Roofpond* tanpa diberi pembayangan dibandingkan dengan atap beton datar konvensional, temperatur rata-rata ruang dapat lebih rendah sebesar 1.4°C; 1.1°C; 2.2°C dan 1.1°C pada bulan Maret, Juni, September dan Desember tahun 2010.

Kata Kunci: *Roofpond*, Mereduksi Termal

## KATA PENGANTAR

Penelitian dengan judul **EFEKTIVITAS VARIASI modifikasi SISTIM “ROOF POND” MEREDUKSI TERMAL ATAP BETON DATAR DI SURABAYA**, merupakan penelitian yang dikembangkan oleh Kelompok Kajian Arsitektur Tropis Jurusan Arsitektur FTSP Universitas Kristen Petra. Konsteks penelitian ini adalah melihat variasi sistim roof pond yang efektif untuk mereduksi termal atap beton agar menghasilkan suhu ruang dalam bangunan yang lebih rendah di Surabaya yang beriklim tropis lembab. Penelitian ini dilakukan dengan tenggang waktu pengambilan data pengukuran satu tahun agar diperoleh prilaku termal atap beton pada musim hujan dan musim kering. Lokasi penelitian ini dilakukan di atas atap beton gedung J, Universitas Kristen Petra, Surabaya. Diharapkan pada kesempatan selanjutnya penelitian dapat dikembangkan dengan modifikasi variasi sistim *roofpond* lain atau pada material atap bangunan lain dan atau dengan kajian bidang yang lain.

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 perbaikan dikemudian hari.

Surabaya, 11 Agustus 2011

Hormat kami,

Peneliti

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Perpindahan panas ( <i>heat transfer</i> ) pada atap beton.....	5
2.2. Macam-macam penelitian <i>roofpond</i> .....	5
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN .....	9
3.1. Tujuan Penelitian.....	9
3.2. Manfaat Penelitian .....	9
BAB IV METODE PENELITIAN.....	10
4.1. Parameter.....	10
4.2. Prosedur Penelitian .....	10
4.3. Model Penelitian.....	11
4.4. Alat Ukur.....	12
4.5. Lokasi Pengukuran.....	13
4.6. Waktu dan Methoda Pengukuran.....	13
4.7. Macam Pengukuran.....	14
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	24
DAFTAR PUSTAKA.....	25
BIAYA PENELITIAN.....	26

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Prinsip kerja <i>Roofpond</i> pada dasarnya.....	3
Gambar 2. Model sebagai referensi (A), model <i>roofpond</i> (B), model <i>roofpond</i> dengan pipa air mengalir ( <i>Water Condenser</i> ) (C).....	11
Gambar 3. HOBO U12 + sensor (A), HOBO U8 + Pyranometer (B).....	13
Gambar 4. Ke tiga model pada <i>deck</i> atap beton datar gedung J di Universitas Kristen Petra, Surabaya.....	13
Gambar 5. Atap tanpa penutup (A), Atap dengan penutup bentuk V (B).....	15
Gambar 6. Grafik Prilaku Termal Ruang dengan <i>Roofpond Un-shading</i> Maret 2010.....	17
Gambar 7. Grafik Prilaku Termal Ruang dengan <i>Roofpond Un-shading</i> Juni 2010.....	18
Gambar 8. Grafik Prilaku Termal Ruang dengan <i>Roofpond Un-shading</i> September 2010.....	18
Gambar 9. Grafik Prilaku Termal Ruang dengan <i>Roofpond Un-shading</i> Desember 2010.....	19
Gambar 10. Grafik Prilaku Termal Ruang dengan <i>Roofpond Shading</i> Maret 2010.....	19
Gambar 11. Grafik Prilaku Termal Ruang dengan <i>Roofpond Shading</i> Juni 2010.....	20
Gambar 12. Grafik Prilaku Termal Ruang dengan <i>Roofpond Shading</i> September 2010.....	20
Gambar 13. Grafik Prilaku Termal Ruang dengan <i>Roofpond Un-shading</i> pada “ <i>Daytime</i> ”.....	21
Gambar 14. Grafik Prilaku Termal Ruang dengan <i>Roofpond Un-shading</i> pada “ <i>Nighttime</i> ”.....	22

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Perancangan bangunan yang tanggap terhadap iklim di iklim tropis lembab dimana temperatur udara *ambient* dan kelembaban udara relatif diatas tingkat kenyamanan yang diharapkan manusia, menuntut kondisi dalam bangunan yang dirancang terbuka dengan penghawaan alami, dimana temperatur udara di dalam dan di luar bangunan tidak banyak berbeda. Selubung bangunan mempunyai fungsi utama untuk mengendalikan atau mengurangi beban panas yang berasal dari radiasi sinar matahari yang masuk ke dalam bangunan (transmisi) melalui selubung vertikal yaitu dinding maupun horizontal atau miring yang lazimnya disebut atap.

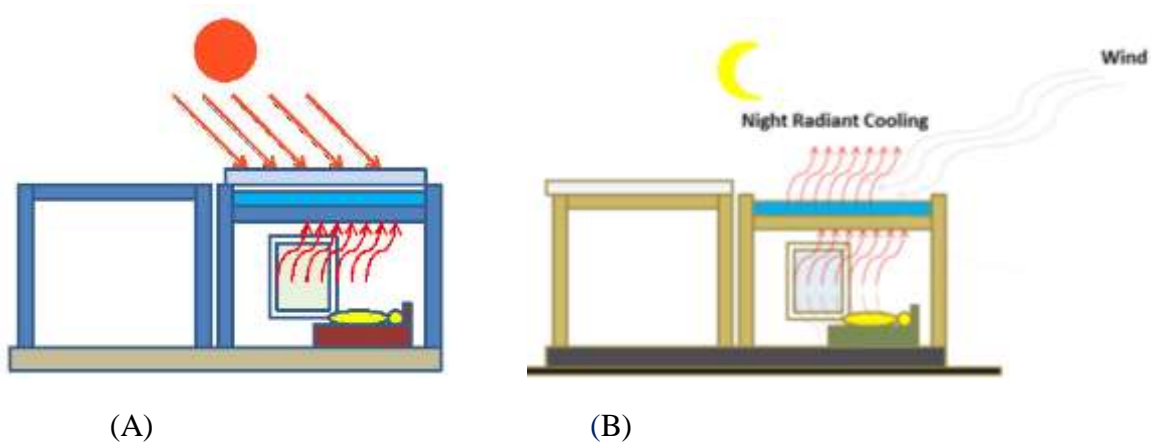
Atap bangunan akan menerima radiasi matahari langsung sepanjang hari, di mana di iklim tropis sudut datang radiasi matahari hampir tegak lurus atap bangunan pada saat siang hari. Beban panas (*heat gain*) dari atap akan meningkatkan temperatur permukaan penutup atap kemudian diteruskan ke langit-langit dan berdampak pada beban panas radian pada penghuni. Yang dimaksud atap dalam hal ini termasuk struktur atap, penutup atap dan material isolasinya serta langit-langit. Yang menjadi masalah adalah, berapa banyak beban panas yang dapat menjamin kenyamanan terhadap panas bagi penghuni dan mempunyai tampilan atap yang baik dengan biaya yang memadai.

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. Di iklim tropis lembab, beban panas dari atap adalah akibat gelombang temperatur sol-air yang merupakan akibat dari faktor-faktor iklim, warna permukaan dan orientasi atap terhadap matahari. 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). Perancangan atap perlu ditekankan pada fungsi melindungi dari radiasi matahari, temperatur udara ambien, angin dan hujan. 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.

Kebutuhan fleksibilitas tinggi dalam penggunaan ruang atap datar untuk utilitas bangunan dan ruang terbuka, atap datar dari beton bertulang banyak dipakai pada bangunan ruko, rukan, bangunan komersil bahkan rumah tinggal. 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. Dari hasil penelitian dari Minto (2008), intensitas iradiasi matahari yang jatuh pada bidang horisontal di Surabaya, rata-rata iradiasi global tiap jam 363 Wh.m<sup>2</sup>. dan iradiasi total setiap hari (12 jam) rata-rata perbulan 3,925 Wh.m<sup>2</sup> pada musim hujan. Pada musim kering, rata-rata tiap jam per bulan sebesar 396 Wh.m<sup>2</sup> dan total iradiasi global selama 12 jam per hari adalah 5,158 Wh.m<sup>2</sup>. Oleh karena itu berbagai cara upaya pendinginan atap bangunan dilakukan, salah satunya adalah menggunakan *roofpond* dengan berbagai modifikasi isolasi (Tang and Etzion 2005). Berbagai penelitian serupa telah dilakukan oleh; Kharufa (2008), Spanaki (2007), Yannas (2006), Jain (2006), Nahar et al. (2003), dengan mengembangkan dalam berbagai modifikasi dan meneliti efektivitasnya sebagai pendingin atap. *Roofpond* tidak hanya merupakan sistem pendinginan pasif, tetapi dapat menghemat dan mengkonservasi energi. Penggunaan *roofpond* berkembang dengan berbagai modifikasi, tetapi harus tetap berdasarkan prinsip keseimbangan panas pada *pond*, dan integrasi semua mekanisme penerusan panas yang muncul pada sistem tersebut, yaitu penyerapan (*absorpsi*) radiasi matahari oleh air dan dasar *pond*. Perpindahan panas akan terjadi secara konduksi (tembereng atap *pond*), konveksi (udara panas siang hari) dan radiasi matahari. Sedangkan Pelepasan panas air *pond* akan terjadi secara evaporasi pada permukaan air sepanjang hari dan radiasi langit malam hari (*nocturnal sky radiation*).





**Gambar 1:** Prinsip kerja *Roofpond* pada dasarnya.

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 diatasnya (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).

Sedangkan 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.

Modifikasi *roofpond* yang dapat mengurangi beban panas termal pada bangunan dari atap maupun dari beban termal dalam bangunan. Untuk mendapatkan penghalang termal solar matahari maksimal dari atap beton, maka permasalahan termal yang akan diteliti adalah:

1. Berapa besar perbedaan antara temperatur udara luar terlindung dan temperatur udara dalam ruang, pada ruang beratap beton dengan *roofpond* berisi air yang di modifikasi dengan:
  - a) didalamnya diberi pendinginan pipa udara yang ujungnya terbuka.
  - b) didalamnya diberi pendinginan pipa berisi air yang mengalir.

2. Berapa besar perbedaan antara temperatur permukaan luar dengan temperatur permukaan dalam, pada kedua modifikasi diatas.

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 pada kolam air diatas atap plat beton, yaitu: perbedaan antara temperatur udara luar (*outdoor temperature*) dengan temperatur udara dalam ruang (*indoor temperature*) serta perbedaan antara temperatur permukaan luar (*external surface temperature*) dan temperatur permukaan dalam (*internal surface temperature*).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

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

Di 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.

Media yang dapat mengurangi panas adalah udara *ambien*, tanah, massa air dan langit, dengan temperatur yang lebih rendah dari temperatur ruangan yang akan didinginkan. Oleh karena itu upaya pendinginan atap bangunan dapat dilakukan dengan menggunakan *roofpond*, yaitu kolam air (Tang and Etzion 2005).

Penggunaan *roofpond* mengalami pengembangan dengan berbagai modifikasi, dengan menitik berat pada cara-cara menutupi permukaan *roofpond* tapi tetap dapat efektif dalam proses pendinginan malam hari. Modifikasi *roofpond* berkembang dengan penggunaan air dan udara dalam bentuk radiator untuk pendinginan, dimana prinsipnya tidak berbeda banyak dari pengumpulan radiasi matahari dengan air.

#### **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 sistem 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 di atas 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, radiator terpapar setiap saat, dan media penerus panas yang sesuai bersirkulasi di radiator pada waktu yang ditentukan. Atapnya sendiri terisolasi setiap saat.
- 
- Air sebagai medium pemindah panas.  
Radiator selalu terpapar terbuka. Air bersirkulasi sebagai medium pemindah panas bila dibutuhkan pendinginan, bila keadaan sekitarnya memungkinkan
    - Radiator dapat terbuat dari berbagai material. Warna permukaannya punya dampak yang kecil pada pendinginan, warna yang gelap akan cepat menjadi dingin setelah matahari terbenam. Maka radiator sebaiknya berwarna gelap bila radiator juga berfungsi sebagai cadangan sistim pemanasan.
    - Pipa berjarak cukup rapat.
    - Diameter pipa perlu dipertimbangkan untuk rata-rata aliran medium, tetapi jangan lebih besar dari 10 mm.
    - Panjang pipa disesuaikan ukuran atap. Makin panjang pipa membutuhkan arus kecepatan medium lebih cepat, perbedaan temperatur medium air yang masuk dan keluar pipa tergantung lamanya pipa radiator terpapar.
    - Tempat penyimpanan air dapat berbentuk reservoir air atau pendingin panel beton.

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

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

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

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

## **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**

Secara umum penelitian ini merupakan pengukuran dan perbandingan hasil pengukuran terhadap penerusan panas pada atap datar beton dengan modifikasi berbagai *roofpond*

#### **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.
2. Atap beton dengan *roofpond* kolam air didalamnya diberi pendinginan pipa berisi air yang mengalir.

Parameter yang dipakai untuk menentukan besar nilai reduksi panas adalah:

- Temperatur ruang dalam dan temperatur ruang luar dalam satuan °C.
- Temperatur permukaan luar dan temperatur permukaan dalam atap beton, dinyatakan dalam satuan °C.
- Perbedaan temperatur permukaan luar dengan temperatur permukaan dalam, dinyatakan dalam satuan derajat Celcius K.

#### **4.2. Prosedur Penelitian**

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

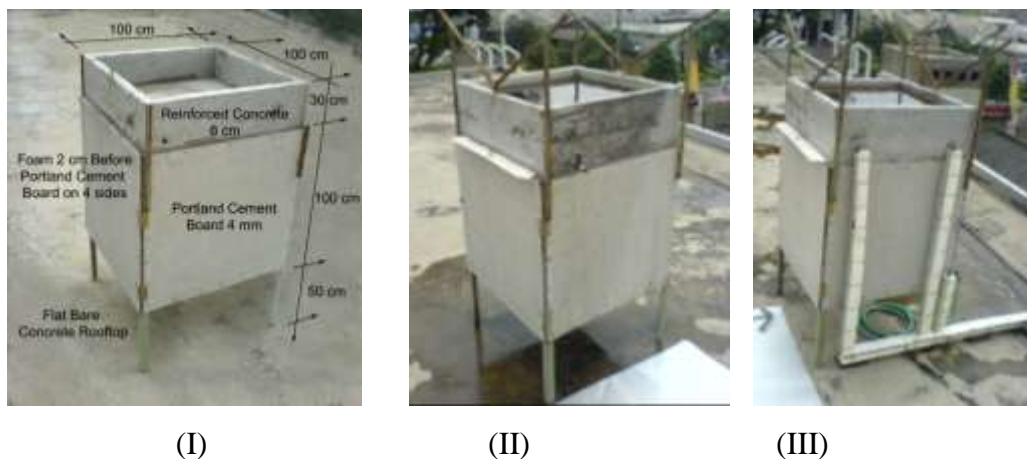
1. Mengumpulkan pustaka yang mendasari dan menunjang penelitian ini, yaitu panas dan reduksinya, atap datar beton, reduksi panas dengan *roofpond*, reduksi panas oleh air dan udara
2. Menetapkan permasalahan dan tujuan.
3. Menetapkan parameter.
4. Menetapkan modifikasi *roofpond* yang akan diteliti.



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 beberapa modifikasi *roofpond*.
10. Mengambil kesimpulan.

#### 4.3. Model Penelitian

Pengukuran temperatur ruangan dan temperatur permukaan dalam ruang atap beton, serta temperatur permukaan luar atap beton dilakukan pada model yang diletakkan pada ruang terbuka diatas atap gedung J, Universitas Kristen Petra, Surabaya. Pada penelitian ini digunakan 3 unit model atap beton dengan modifikasi *roofpond* dengan rincian sebagai berikut (gambar 2):



**Gambar 2A:** Model sebagai referensi (I), model *roofpond* (II), model *roofpond* dengan pipa air mengalir (*Water Condenser*) (III)

- I. Satu unit model atap datar beton ukuran 1.00 x 1.00, diletakkan 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 pembandingan 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 dengan 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 galvanize berdiameter  $\frac{3}{4}$ ". Pipa tersebut dialirkan air didalamnya dengan pompa air setiap jam dengan waktu mengalir 15 menit, tujuannya untuk mendinginkan air dalam *roofpond* yang terpanasi radiasi matahari dan akan diteruskan ke atap beton . Selanjutnya disebut “*atap datar beton dengan roofpond berpipa air mengalir*”(Water Condenser) (gambar 2A-III & 2B).



**Gambar 2B:** Model *Water Condenser*

#### 4.4. Alat Ukur

Alat ukur yang dipakai untuk mengukur temperatur ruang dan temperatur permukaan 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 permukaan beton dan air di *outdoor*
  - b. Temperatur permukaan beton ceiling ruang dalam
3. Satu unit HOBO data logger U-12
  - a. Temperatur ruang model
  - b. *Relative Humidity* (RH) ruangan
4. Satu unit HOBO data logger Pyranometer:
  - a. Global solar radiasi matahari
5. Satu unit HOBO data logger U8:
  - a. Temperatur air dalam bak penampungan (sirkulasi air).



(A)



(B)

**Gambar 3:** HOBO U12 + sensor (A), HOBO U8 + Pyranometer (B)

#### 4.5. Lokasi Pengukuran

Ke tiga model diletakkan berjarak 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 dek atap gedung J, Universitas Kristen Petra, Surabaya.



**Gambar 4:** Ke tiga model 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, Desember 2010. Data yang terkumpul di rata-rata menjadi data :

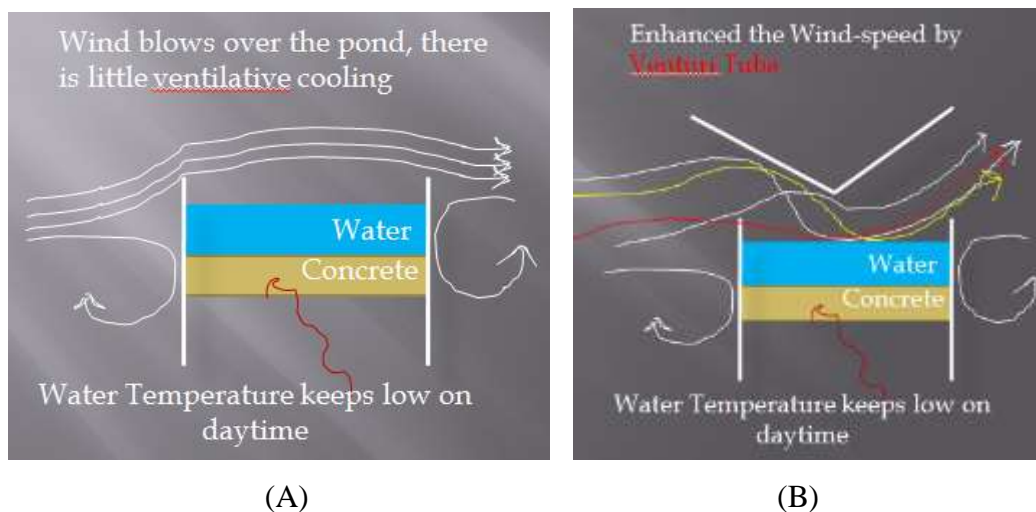
- Temperatur rata-rata siang hari (pukul 06.00 – 18.00) *Daytime*
- Temperatur rata-rata malam hari (pukul 19.00 – 5.00) *Nighttime*
- Temperatur rata-rata harian selama 15 hari awal bulan terbuka tanpa pembayangan (*shading device*)
- Temperatur rata-rata harian selama 15 hari akhir bulan tertutup dengan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

Data rata-rata temperatur ruangan diatas dipetakan pada grafik, untuk mendapatkan tampilan perilaku temperatur ruang dari aplikasi-aplikasi atap beton konvensional, atap beton dengan *roofpond*, atap beton dengan *roofpond* berpipa air mengalir (*Water Condenser*).

#### 4.7. Macam Pengukuran

Pengukuran perilaku termal dilakukan pada atap beton konvensional, atap beton dengan *roofpond*, atap beton dengan *roofpond* berpipa air mengalir tersebut dengan 2 cara, yaitu : 15 hari awal bulan ketiga model di atur secara terbuka tanpa pembayangan (*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 kolam air. 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 dengan pipa yang airnya mengalir setiap jam (*water condenser*) akan mulai naik dan temperatur ruang paling panas terjadi pada pukul 14.00 kemudian menurun sampai paling dingin pada pukul 6.00 pagi (lihat gambar 6 sampai 9). Kalau diperbandingkan ada sedikit perbedaan pada rata-rata temperatur ruang pada jam-jam ekstrem tersebut, antara rata-rata temperatur ruang bulan Maret, September, Juni dan Desember, akibat posisi pergerakan matahari dengan tempat pengamatan.

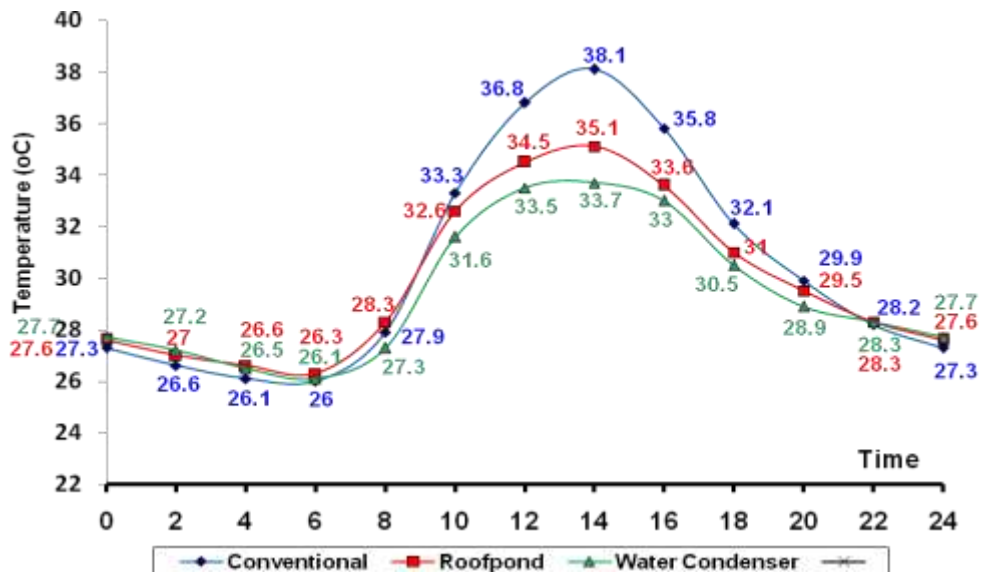
Gambar 6 menunjukkan rata-rata temperatur ruang dengan *Roofpond* tanpa pembayangan (*shading device*) pada bulan Maret pukul 6.00 lebih tinggi  $0.4^{\circ}\text{C}$  dibandingkan atap beton datar dan  $1^{\circ}\text{C}$  lebih tinggi dengan aplikasi atap beton air + *Water Condenser*, tetapi pada pukul 14.00 temperatur ruangan dengan *Roofpond* lebih rendah  $3^{\circ}\text{C}$  dibandingkan atap beton datar biasa tapi lebih tinggi  $1^{\circ}\text{C}$  dari aplikasi atap beton *Roofpond* + *Water Condenser*. Demikian juga terjadi di bulan Juni, rata-rata temperatur ruang dengan sistem *Roofpond* tetap terpaut  $3^{\circ}\text{C}$  lebih rendah dari sistem atap beton datar biasa dan lebih tinggi  $0,2^{\circ}\text{C}$  dari sistem atap *Water Condenser* ( lihat gambar 7 ).

Sedangkan pada bulan September (gambar 8), suhu udara paling tinggi di Surabaya dan temperatur rata-rata ruang dengan *Roofpond* pada pukul 14.00 menunjukkan temperatur paling rendah dibandingkan 2 aplikasi lainnya, beda temperatur lebih rendah  $5^{\circ}\text{C}$  dengan atap beton konvensional dan  $0.4^{\circ}\text{C}$  dengan atap beton *Water Condenser* tetapi setelah itu temperatur ruang *Roofpond* meningkat tinggi dibandingkan dengan sistem atap beton *Water Condenser* tapi tetap lebih rendah dari sistem atap beton datar konvensional sampai pukul 24.00.

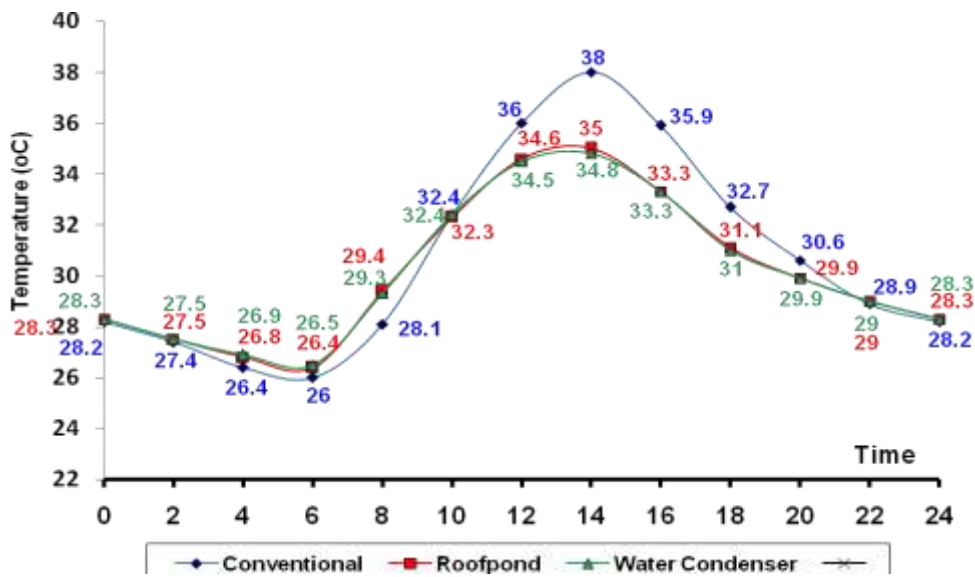
Pada bulan Desember ke 3 sistem atap beton menunjukkan rata-rata temperatur ruangan rendah pada pukul 14.00, tertinggi hanya  $32.9^{\circ}\text{C}$  pada atap beton datar konvensional dan *Roofpond*  $31.8^{\circ}\text{C}$ , sedangkan atap beton *Water Condenser*  $32^{\circ}\text{C}$ .

Sistim atap *Roofpond* dimana temperatur ruang rata-rata paling rendah diantara atap beton datar konvensional dan *Water Condenser* mulai pukul 10.00 sampai 16.00 (gambar 9).

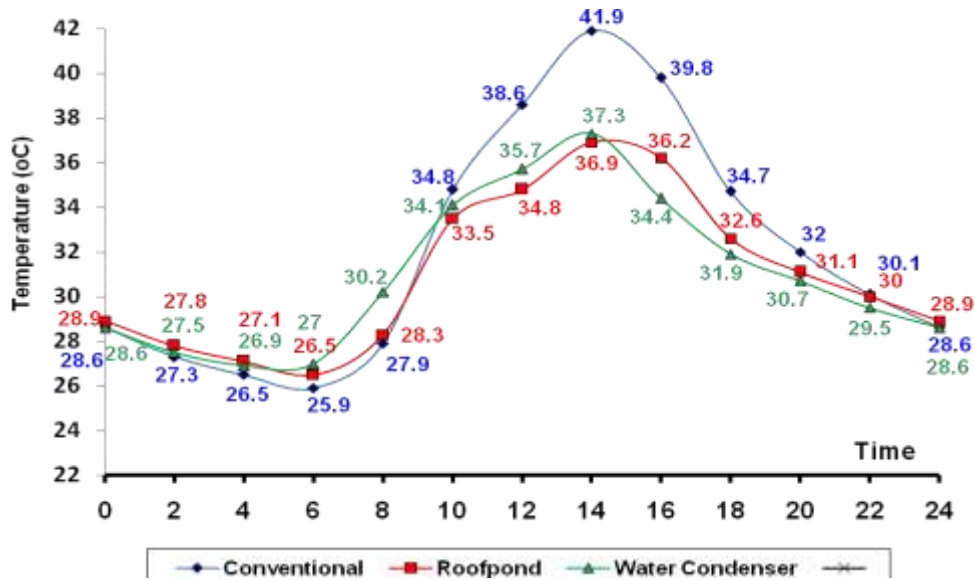
Satu hal yang sangat tercantum jelas, temparatur rata-rata ruangan pada atap beton datar konvensional mulai pukul 24.00 hingga pukul 6.00 lebih rendah diantara atap *Roofpond* dan atap *Water Condenser* pada bulan Maret, Juni, September dan Desember (gambar 6 sampai 9).



**Gambar 6:** Grafik Prilaku Termal Ruang dengan *Roofpond Un-shading* Maret 2010

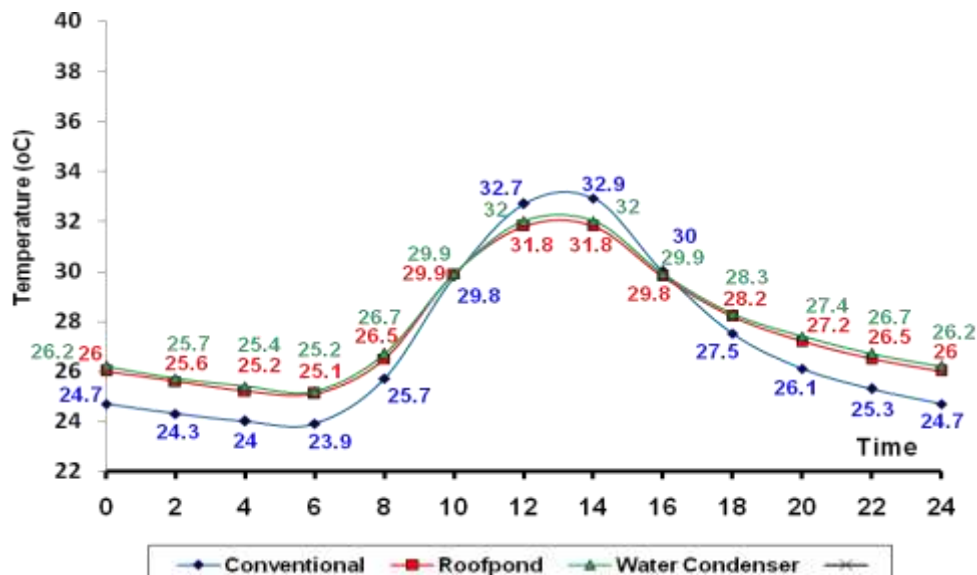


Gambar 7: Grafik Prilaku Termal Ruang dengan *Roofpond Un-shading* Juni 2010



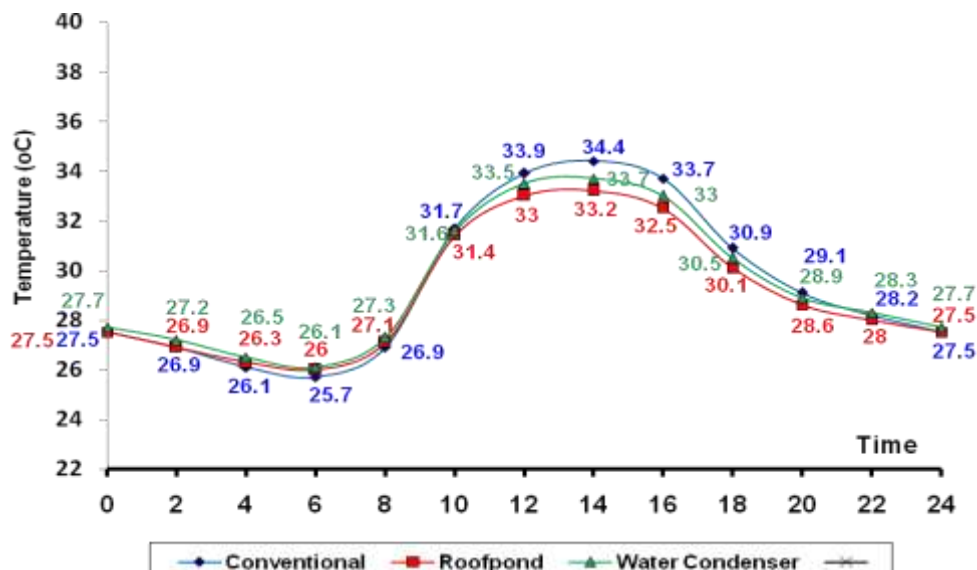
Gambar 8: Grafik Prilaku Termal Ruang dengan *Roofpond Un-shading* September 2010



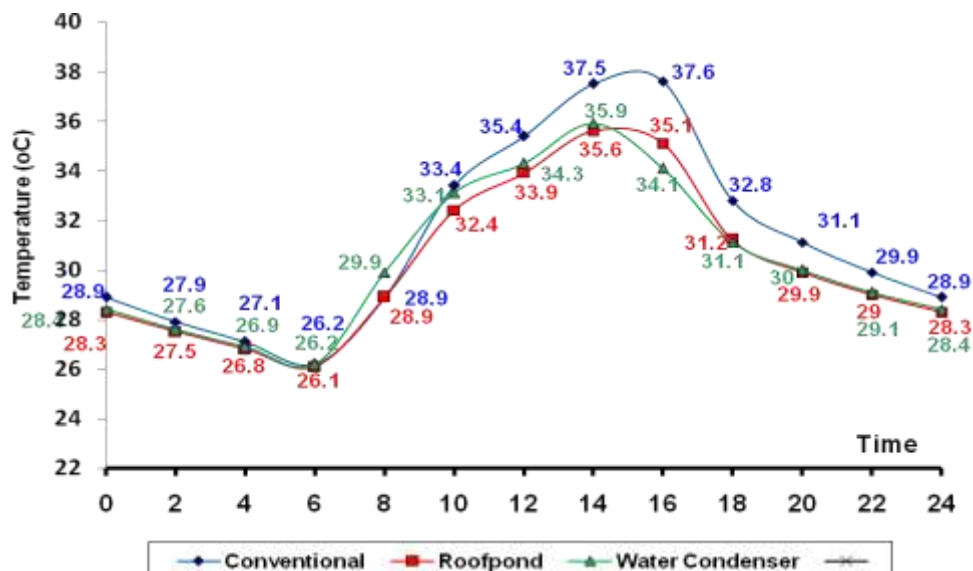


**Gambar 9:** Grafik Prilaku Termal Ruang dengan *Roofpond Un-shading* Desember 2010

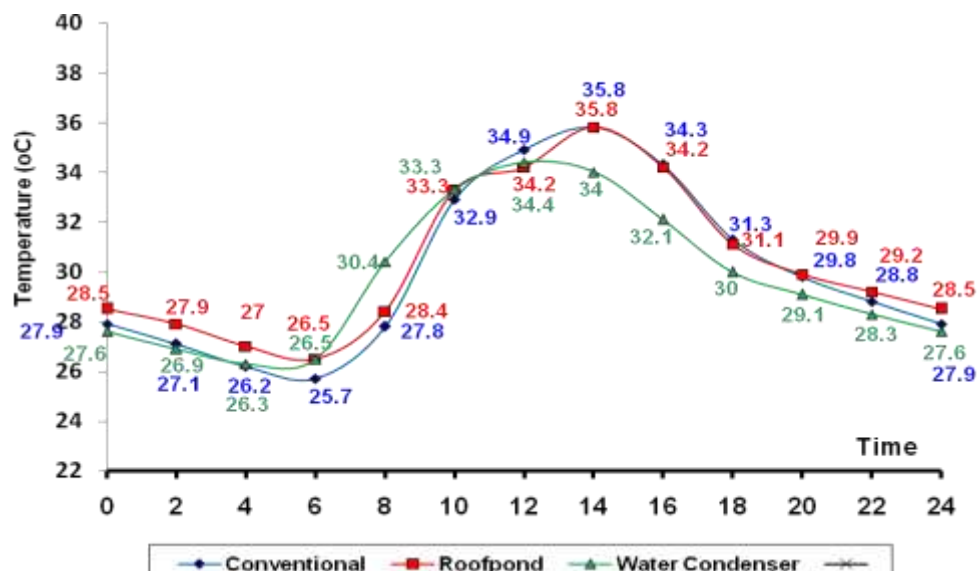
Alat pembayangan (*shading device*) berbentuk V terpasang pada ke 3 model, Sistem *Roofpond* bekerja cukup baik dari pukul 8.00 hingga pukul 24.00 pada bulan Maret. Rata-rata temperatur ruangan dengan *Roofpond* pada waktu terpanas (pukul 14.00) mencapai 33.2°C, sedangkan atap beton *Water Condenser* 33.7°C dan terpanas pada atap beton datar biasa 34.4°C (gambar 10).



**Gambar 10:** Grafik Prilaku Termal Ruang dengan *Roofpond Shading* Maret 2010



**Gambar 11:** Grafik Prilaku Termal Ruang dengan *Roofpond Shading* Juni 2010

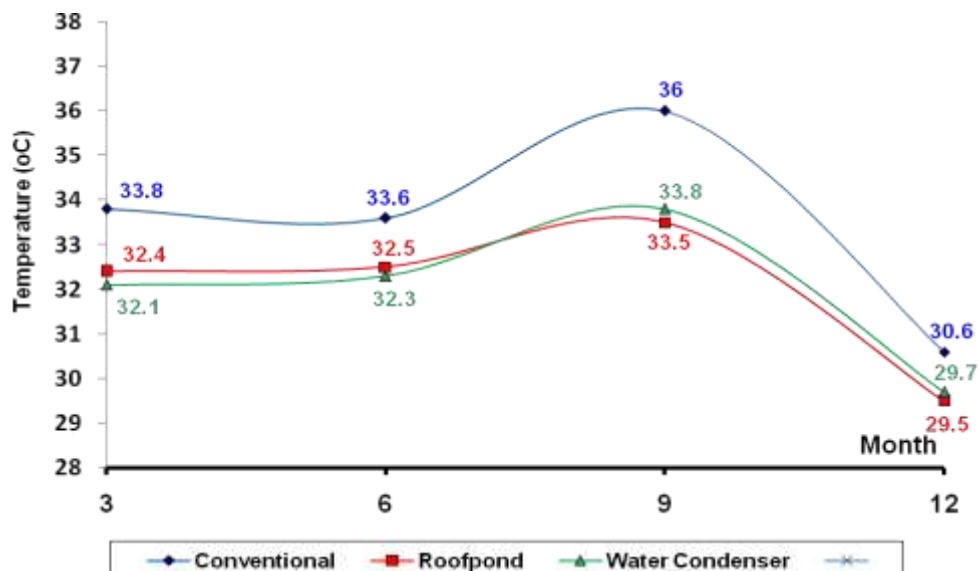


**Gambar 12:** Grafik Prilaku Termal Ruang dengan *Roofpond Shading* September 2010

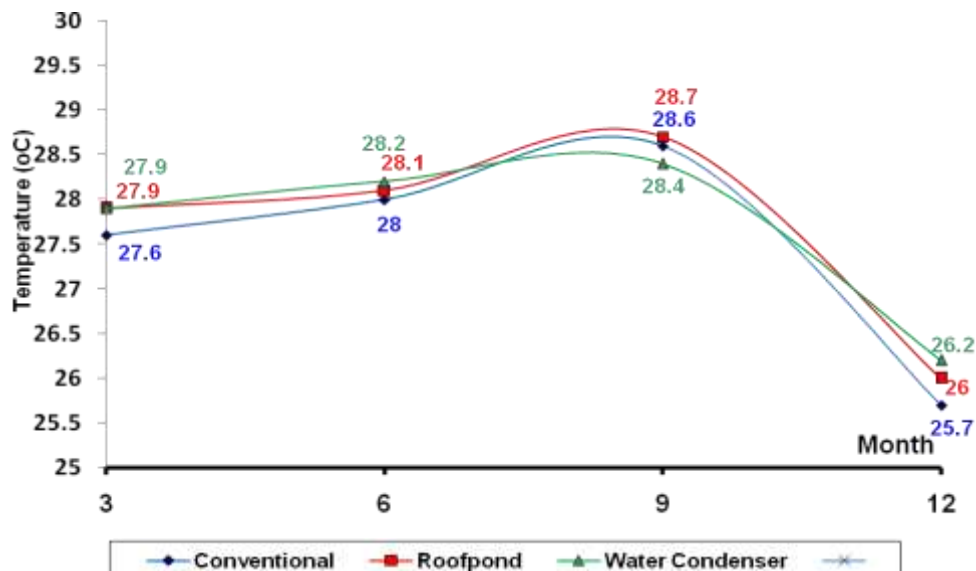
Demikian terjadi pada bulan Juni, atap beton *Roofpond* temperatur ruangan rata-rata selalu lebih rendah dibandingkan ke 2 aplikasi lain mulai dari pukul 0.00 hingga pukul 24.00 (24 jam) kecuali pada pukul 16.00 dimana temperatur ruangan *Roofpond*

menunjukkan 35.4°C yaitu lebih tinggi 1°C dari atap beton *Water Condenser* tapi lebih rendah 2.5°C dari atap beton datar biasa (gambar 11).

Bulan September paling tidak ramah bagi atap beton maupun atap beton *Roofpond* karena posisi matahari paling dekat ke equator sehingga konsentrasi solar radiasi tertinggi dan terpanas. Air di atap beton *Roofpond* ikut menjadi panas sepanjang hari dan lambat melepas panas pada malam hari. Terlihat pada gambar 12 dimana rata-rata temperatur ruang pada *Roofpond* dari pukul 0.00 lebih tinggi dari atap beton datar biasa.



**Gambar 13:** Grafik Prilaku Termal Ruang dengan *Roofpond Un-shading* pada “*Daytime*”



**Gambar 14:** Grafik Prilaku Termal Ruang dengan *Roofpond Un-shading* pada “*Nighttime*”

Rata-rata temperatur ruang sepanjang tahun menunjukkan temperatur paling panas pada bulan September dan paling dingin di bulan Desember. Pada bulan Maret dan Juni Rata-rata temperatur ruang hampir sama.

Sekarang lihat gambar 13 dimana prilaku rata-rata temperatur ruangan *Roofpond* tanpa pemberian peneduh (*shading device*) sepanjang tahun pada *Daytime* selama 12 jam (pukul 6.00 – 18.00), temperatur ruangan dengan *Roofpond* lebih tinggi dari sistim atap beton *Water Condenser* setengah tahun awal (Janurai – Juli) tapi lebih rendah dari sistim atap beton datar biasa. Setengah tahun akhir (Juli – Desember) sistim atap *Roofpond* temperatur ruang rata-rata yang terendah dari 2 sistim atap di bulan terpanas (September-Oktober): lebih dingin 2.5°C dari atap beton biasa dan 0.3°C dari atap beton *Water Condenser*.

Prilaku termal ruangan rata-rata pada senja-malam hari (*nighttime*) sepanjang tahun tidaklah begitu baik lebih-lebih pada bulan September, temperatur rata-rata ruangan *Roofpond* merupakan tertinggi diantara sistim atap beton dalam penelitian, suhu ruangan malam dengan *Roofpond* 28.7°C sedangkan atap beton biasa 28.6°C dan atap beton *Water Condenser* 28.4oC (terendah) (gambar 14).

Bulan Desember merupakan temperatur atap terendah di antara bulan-bulan biasa, pada *Nighttime* dimana rata-rata temperatur ruang ber atap beton dengan *roofpond*, lebih panas 0,3 derajat Celcius dari ber atap beton konvensional, tetapi lebih dingin 0,2 derajat Celcius dengan atap beton air + *Water Condenser*.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Sistim atap beton datar berair (*roofpond*) pada iklim tropis lembab di Surabaya ini masih 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. Suhu ruangan sistim *Roofpond* lebih rendah 1.4°C; 1.1°C; 2.2°C dan 1.1°C pada bulan Maret, Juni, September dan Desember tahun 2010. 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.

Prilaku temperatur ruangan atap beton berair + *Water Condenser* (pipa-pipa air) kadang lebih baik/rendah dari *Roofpond* pada bulan Maret sampai Juli, tapi tidak bagus bulan September sampai Desember dimana suhu udara sangat panas, maka performa *Roofpond* lebih baik daripada atap beton air berpipa-pipa air (*water condenser*), lagi pula konstruksi pipa-pipa air tidaklah mudah di bentuk.

Penelitian lain dengan *Roofpond* mungkin dapat dilanjutkan dengan dilakukan pada 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 *Roofpond* terletak pada beratnya atap beton berair sehingga beban konstruksi atap menjadi besar dan berat, mudah terjadi kebocoran atap beton datar, mudah berlumut dan terjadi sarang jentik-jentik nyamuk.

## DAFTAR PUSTAKA

- Evan, Martin (1980), *Housing, Climate and Comfort*.
- Givoni, Baruch (1998), *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Jain, D. (2006). Modeling of Solar Passive Techniques for Roof Cooling in Arid Regions. *Building and Environment*; **41** p.277-287
- Kharrufa, Sahar N. & Yahyah Adil. Roofpond Cooling of Buildings in Hot Arid Climate. *Building and Environment*; **43** p.82-89
- Mintorogo, Danny S. (2008), Horizontal dan Vertical Intensitas Solar Radiasi Matahari di Surabaya.
- Nahar NM et al. (1999). Studies on Solar Passive Cooling Techniques for Arid Areas. *Energy Conversion & Management*; **38** p.89-95
- Nahar NM, et al. (2003). Performance of Different Passive Techniques for Cooling of Buildings in Arid Regions. *Building and Environment*; **38** p.109-16
- Olgyay, Victor (1963), *Design With Climate*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Spanaki, A. (2007). *Comparative Studies on Different Type of Roofponds for Cooling Purposes: Literature Review*. 2<sup>nd</sup> PALENC Conference and 28<sup>th</sup> AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21<sup>st</sup> 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** p.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 2009-20010:

• 4 unit HOBO data logger U-12	Rp. 9.500.000,-	
+ 4 sensor		
• Pembuatan 4 unit model	Rp. 12.500.000,-	
• Tinta printer	Rp. 500.000,-	+
<hr/> T o t a l	Rp. 22.500.000,-	

2. Biaya yang tidak diperhitungkan karena memakai ATK rutin

- Kertas
- Penjilitan laporan