

# Pengaruh Penerapan Cerobong Surya terhadap Kelajuan Udara Koridor pada Bangunan *Inner-Court*

Dede Irwan & Dian Perwita Sari

Jurusan Teknik Arsitektur Politeknik Negeri Pontianak,  
Jalan Ahmad Yani, Pontianak78124  
E-mail: dedepolnep@gmail.com

**Abstract:** *The achievement of thermal comfort in damp hot tropical climate such as Pontianak city becomes difficult to be achieved due to having problems such as high temperature of air; humidity of air; solar radiation and low average speed of air movement. The main way to get thermal comfort is to decrease heat by continuously improving natural air movement using natural ventilation both horizontally and vertically. The solar chimney with a tromble wall can be utilized as a form of soft technology, which tackles climate as a beneficial factor for thermal comfort in a building. The solar chimney with a tromble wall can create a temperature difference at the top and bottom of the building so that vertical ventilation occurs. Prototype solar chimney with tromble wall is one way to get thermal comfort in the building. The results show that the air speed at Inner court without sun chimneys is lower than 0.08 m / s from Inner court with a solar chimney of 0.18 m / s. The difference between the air velocity between Inner court without solar chimney with Inner court with solar chimney that is equal to 0.10 m / s. Air speed at Inner court with solar chimney 113.16% higher than Inner court without solar chimneys.*

**Keywords:** *Vertical Airflow, Solar Chimney, Tromble Wall, Inner-Court*

**Abstrak:** Pencapaian *kenyamanan* termal di iklim tropis panas lembab seperti kota Pontianak menjadi sulit *tercapai* dikarenakan memiliki permasalahan diantaranya tingginya temperatur udara; kelembapan udara; radiasi matahari dan rendahnya rata-rata kecepatan pergerakan udara. Cara utama untuk mendapatkan kenyamanan termal adalah dengan menurunkan kalor melalui peningkatan pergerakan udara alami secara kontinu menggunakan ventilasi alami baik secara horizontal maupun secara vertikal. Cerobong surya dengan tromble wall dapat dimanfaatkan sebagai wujud teknologi lunak, yang menyiasati iklim sebagai faktor menguntungkan untuk memperoleh kenyamanan termal dalam bangunan. Cerobong surya dengan *tromble wall* dapat menciptakan perbedaan temperatur di bagian atas dan dibagian bawah bangunan sehingga terjadinya ventilasi secara vertikal. Prototype cerobong surya dengan tromble wall merupakan salah satu cara mendapatkan kenyamanan termal pada pada bangunan. Hasil analisis menunjukkan kelajuan udara pada *Innercourt* tanpa cerobong surya lebih rendah yaitu sebesar 0,08 m/det dari *Innercourt* dengan cerobong surya yaitu sebesar 0,18 m/det. Selisih kelajuan udara antara *Innercourt* tanpa cerobong surya dengan *Innercourt* dengan cerobong surya yaitu sebesar 0,10 m/det. Kelajuan udara pada *Innercourt* dengan cerobong surya lebih tinggi 113,16% daripada *Innercourt* tanpa cerobong surya.

**Kata kunci:** Aliran Udara Vertikal, Cerobong Surya, *Tromble Wall, Inner-Court*

Wilayah Indonesia terletak di daerah khatulistiwa beriklim tropis lembab dengan ciri

kaya akan limpahan sinar matahari dan pergerakan aliran udara yang lambat. Sinar

matahari yang selain sebagai sumber cahaya juga merupakan sumber energi panas yang tersedia secara alami. Sumber energi panas matahari dapat dipergunakan antara lain sebagai energi yang menghasilkan aliran daya apung udara yang dipanaskan (*buoyant flow*) untuk meningkatkan kelajuan pergerakan aliran udara yang lambat.

Di dalam bangunan pergerakan aliran udara selain bergerak secara horizontal juga bergerak secara vertikal. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar bahwa udara mengalir dari area bertekanan tinggi (dingin) ke area bertekanan rendah (panas). Bagian atas bangunan cenderung lebih panas dari bagian bawah hal ini disebabkan karena adanya pemanasan bangunan oleh sinar matahari (pada bagian atap bangunan). Kondisi ini menyebabkan udara bergerak dari area bawah ke atas. Agar udara panas ini dapat keluar, dan terjadi aliran maka perlu ditempatkan lubang angin di bagian atas bangunan sehingga udara panas bisa terbuang dan digantikan oleh udara yang lebih dingin dari bagian bawah atau lantai dasar bangunan.

Kelajuan pergerakan aliran udara dalam bangunan dapat ditingkatkan salah satunya dengan menggunakan model cerobong surya (*solar thermal chimney*) sebagai pembangkitnya.

Inner-court adalah halaman dalam terbuka, sebagai elemen arsitektural yang mewadahi kebutuhan manusia baik untuk mewadahi kebutuhan psikis maupun fisik. Inner-court dapat dimanfaatkan sebagai wujud teknologi lunak, yang menyiasati iklim sebagai faktor menguntungkan untuk memperoleh kenyamanan termal dalam bangunan. Masalah elemen iklim, seperti temperatur dan kelembapan tinggi serta rendahnya aliran udara dapat ditanggulangi dengan menggunakan rancangan Inner-court yang tepat. Inner-court sebagai hasil rancangan arsitektur bioklimatik diharapkan dapat membantu menurunkan

temperatur udara di dalam bangunan dengan adanya pergerakan udara vertikal.

Cerobong surya merupakan teknologi pendinginan pasif dalam meningkatkan kenyamanan termal melalui peningkatan kelajuan udara yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur udara di bagian atas yang dipanaskan dengan udara dingin dibagian bawah bangunan. Teknologi ini dapat diterapkan pada bangunan yang memiliki *Inner-court* pada sistem bangunannya sehingga memungkinkan terjadinya ventilasi vertikal yang dapat mendukung ventilasi horizontal pada bangunan.

Daerah tropis adalah daerah di bumi yang terletak di antara dua garis balik yaitu garis balik Cancer (garis 23°27' LU) dan garis balik Capricorn (garis 23°27' LS). Namun saat ini daerah tropis lebih dilihat sebagai daerah yang terletak di antara bagian yang mempunyai temperatur rata-rata tahunan tidak lebih dari 20°C (Koenigsberger dkk, 1973). Karakteristik umum iklim tropis adalah memiliki temperatur yang tinggi, temperatur dan kelembapan rata-rata harian relatif konstan, dan range rata-rata temperatur bulanan adalah sekitar 1-3°C. Kelembaban dan curah hujan tinggi hampir sepanjang tahun. Relative humidity berkisar sekitar 90%. Kondisi angin tergantung pada jarak dari laut dan bisa bervariasi sepanjang tahun. Langit hampir setiap saat berawan (Giovanni, 1998). Menurut Giovanni (1976), definisi kenyamanan termal adalah hilangnya gangguan dan ketidaknyamanan akibat kalor atau dingin. Dalam arti yang lain adalah suatu keadaan yang mencakup rasa nyaman. Standar zona kenyamanan termal di Indonesia adalah (SNI T-14-1993-03, hal. 35-36): a) Sejuk nyaman, suhu efektif 20,5 - 22,8°C; b) Nyaman optimal, suhu efektif 22,8 - 25,8°C; c) Hangat nyaman, suhu efektif 25,8 - 27,1°C; d) Panas, suhu efektif > 27,1°C.

Temperatur udara merupakan faktor paling dominan yang menentukan pelepasan

kalor tubuh secara konvektif. Pergerakan udara dapat mempercepat proses konveksi sekaligus proses penguapan dari kulit dan menghasilkan efek pendinginan. Kelajuan angin sampai dengan 0,5 m/detik masih dirasakan nyaman, sampai dengan 1 m/detik dirasakan namun siaga, sementara di atas kelajuan tersebut sudah dirasakan tidak nyaman. Namun pada kondisi sangat panas, kelajuan aliran udara sampai dengan 2 m/detik masih dapat diterima (Szokolay, 2008).

Secara umum kondisi termal tropis basah tidak dirasa nyaman. Karena temperatur udara seringkali mendekati temperatur kulit, pelepasan kalor dari tubuh melalui konveksi atau konduksi menjadi sulit juga. Cara utama untuk mendapatkan kenyamanan termal adalah dengan menurunkan kalor melalui pergerakan udara (Koenigsberger et al., 1973; Szokolay, 2008).

Salah satu cara metode *passive cooling* untuk daerah iklim tropis adalah strategi *stack ventilation*. *Stack ventilation* disebabkan oleh *stack pressure* atau *buoyancy* pada suatu bukaan dalam kaitan dengan variasi *air density* sebagai hasil perbedaan temperatur bukaan yang berseberangan. Prinsip yang sama dapat digunakan bukaan dengan ketinggian yang berbeda, di mana perbedaan tekanan antara kedua bukaan tersebut dalam kaitannya dengan gradien vertikal. Dengan menggunakan radiasi matahari yang berlimpah di daerah tropis ini, menghasilkan *buoyant flow* (Awbi, 2004).

Landasan teori yang digunakan disini adalah teori *stack effect* yang mengemukakan tentang proses pengaliran udara kalor secara vertikal yang diakibatkan oleh adanya perbedaan tekanan dan temperatur udara yang signifikan. Udara yang memiliki ciri bertekanan rendah, yang ditandai dengan temperatur udara yang lebih tinggi akan memiliki massa berat yang lebih ringan sehingga cenderung untuk terangkat. Sebaliknya udara yang memiliki tekanan lebih

tinggi dan bertemperatur rendah akan berada dibawah. Udara dingin bertekanan tinggi akan mendorong udara kaloryang bertekanan lebih rendah. Sehingga semakin tinggi temperatur udara di bagian atas maka semakin cepat aliran udara terjadi. (ASHRAE, 1997).

*Stack effect* mengandalkan pada kekuatan termal yang diatur oleh perbedaan kepadatan /density difference yang disebabkan oleh perbedaan temperatur antara udara ruang luar dan ruang dalam (Koenigsberger, 1973). Udara yang lebih ringan dan lebih hangat akan mengalir keluar pada puncak atap, dan udara yang lebih padat dan dingin akan mengalir kedalam pada bagian bawah. Lebih jauh Koenigsberger mengatakan bahwa ketentuan khusus dapat dibuat untuk itu di dalam bentuk shaft ventilasi. Bahwa makin tinggi shaft, makin besar daerah potongan melintang dan perbedaan temperatur, serta makin besar perbedaan tekanan, akan menyebabkan makin besar udara yang dipindahkan. Sistem ventilasi vertikal yang baik membutuhkan lubang udara keluar di bagian atas ruang dan lubang udara masuk dibagian bawah. Makin besar lubang udara dan beda ketinggian antara kedua lubang, makin besar pula gerak udara ke atas yang dihasilkan. Karena itu, udara yang bergerak ke atas akan diperkuat geraknya dengan adanya cerobong, karena beda ketinggian lubang makin besar (Heinz Frick, 2008).

Di ujung atas cerobong terjadi isapan udara akibat angin menyapu udara yang keluar dari cerobong. Udara yang tertarik keluar akan menimbulkan kehampaan di dalam cerobong, dan kehampaan ini pada gilirannya akan menarik udara dari bawah untuk mengisi kehampaan tersebut. Gerak udara ke atas akibat adanya isapan udara di bagian atas cerobong disebut *chimney effect*. Hisapan udara akibat *chimney effect* dapat diperkuat dengan memperkecil lubang udara di hulu cerobong dengan memperbesar lubang udara di hilir

cerobong. Gejala ini disebut dengan *ventury effect*. (Heinz Frick, 2008).

Hal lain yang mendukung ventilasi adalah ketinggian bukaan. Untuk mencapai hasil yang lebih optimum dari perbedaan suhu dalam ruang (walaupun perbedaan tersebut kecil), lokasi bukaan masuk (*luasan bukaan masuk udara*) sebaiknya lebih rendah dari lokasi bukaan keluar (*luasan bukaan keluar udara*). Udara yang lebih tinggi suhunya akan cenderung bergerak ke atas ruangan, dan langsung keluar ruangan melalui *luasan bukaan keluar udara* (Kleiven, 2003).

*Stack effect* dapat terjadi optimal jika lebar bangunan lima (5) kali dari tinggi lantai ke langit-langit ruang. Pergerakan udara akan mengalir dari luasan bukaan masuk udara bukaan dinding pada bangunan ke arah *stack effect* pada bangunan (Kleiven, 2003).

*Stack effect* adalah hasil dari kerapatan udara yang berkurang ketika ada peningkatan temperatur. Semakin besar perbedaan temperatur antara dua udara yang berhubungan, semakin besar temperatur *buoyancynya*, perbedaan *buoyancy* merupakan daya penggerak di belakang sirkulasi *stack effect*, bergantung pada perbedaan temperatur dan perbedaan tingginya. Udara kalorsecara komparatif di dalam bangunan naik untuk lepas melalui bukaan pada bagian atas, digantikan oleh udara luar yang lebih dingin yang masuk melalui bukaan pada bagian bawah di sekitar keliling bangunan. Salah satu kemungkinan untuk meningkatkan *stack effect* digunakan matahari yaitu *solar thermal chimney* untuk meningkatkan aliran konvektif dengan peningkatan perbedaan temperatur di dalam sistem. (Moore, 1993).

Ada tiga unsur pada bangunan yang biasanya menggunakan ini, yaitu : *Tromble Wall*, *Solar Chimney*, dan *Solar roof* (Awbi, 2004).

Jenis *Tromble Wall* yaitu menyertakan unsur kaca di dinding yang dipasang untuk menyerap radiasi matahari ke dalam struktur dinding.

Bangunan ini mempunyai dinding ganda yang dikombinasikan ke dalam suatu batang di bagian atasnya. Dinding batang yang menghadap Selatan dibuat dari kaca. Radiasi matahari yang menembus kaca memanaskan dinding bagian dalam. Dengan cepat, dinding bagian dalam memanaskan dan udara akan naik yang mempengaruhi arus udara segar dari bukaan di bawah (Watson, 1979).

## METODE

Metode pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengetahui kondisi termal bangunan yaitu kondisi dengan *innercourt* existing dan kondisi *innercourt* dengan cerobong surya, sehingga dapat diketahui nilai temperatur efektif untuk mengetahui tingkat kenyamanan termalnya. Lokasi kegiatan eksperimen untuk penelitian ini dilakukan di Kota Pontianak pada bangunan Prodi Teknik Arsitektur Politeknik Pontianak.

Lingkup Kegiatan meliputi, pertama. Melaksanakan pengukuran kondisi termal dikoridor dengan kondisi *inner-court* tanpa cerobong surya di Prodi Teknik Arsitektur Politeknik Pontianak yang memiliki *inner-court* meliputi Temperatur bola kering (*dry bulb temperature/DBT*), dalam satuan derajat Celcius, Temperatur bola basah (*wet bulb temperature/WBT*), dalam satuan derajat Celcius, Temperatur radiasi (*globe temperature/GT*), dalam satuan derajat Celcius, dan Kelajuan angin (*velocity/v*), dalam satuan m/detik.

Kedua. Melaksanakan pengukuran kondisi termal Prodi Teknik Arsitektur Politeknik Pontianak dengan cerobong surya meliputi Temperatur bola kering (*dry bulb temperature/DBT*), dalam satuan derajat Celcius, Temperatur bola basah (*wet bulb temperature/WBT*), dalam satuan derajat Celcius, Temperatur radiasi (*globe temperature/GT*), dalam satuan derajat Celcius, dan Kelajuan angin (*velocity/v*), dalam satuan m/detik.

Ketiga. Melakukan analisis kuantitatif terhadap hasil pengukuran dengan menggunakan metode statistik, hubungan yang terjadi antar variabel dalam data dilihat dan dianalisis untuk kemudian diambil kesimpulan sesuai kondisinya.

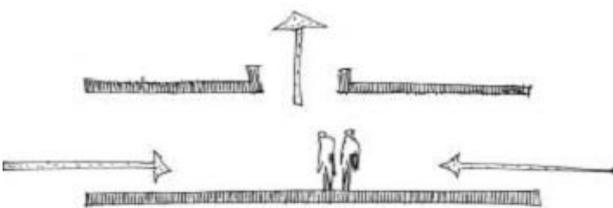
Dengan pendekatan positivist, dilakukan pengumpulan data primer maupun sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan pengukuran kondisi termal bangunan Prodi Teknik Arsitektur Politeknik Pontianak dengan cerobong surya dan tanpa cerobong surya pada *innercourt* mengenai DBT, WBT, GT, dan *v* nya. Untuk mendapatkan data primer tersebut dilakukan dengan pengukuran langsung dititik ukur yang mewakili kondisi termal dilapangan. Sedangkan data sekunder diambil dari Data Klimatologi Kota Pontianak. Kemudian dilakukan analisa data yang sudah terkumpul lalu dikomparasikan untuk melihat efektifitas *inner-court* dan pengaruhnya terhadap kenyamanan termal.

**HASIL**

**Tabel 1. Reaksi Subyektif terhadap Pergerakan Udara**

Kelajuan Angin (m/detik)	Reaksi
< 0,1	Tanpa udara
s/d 0,2	Tidak disadari
s/d 0,5	Nyaman
s/d 1	Disadari/siaga
s/d 1,5	Sensasi dingin
> 1,5	Mengganggu

Sumber: Szokolay (2008)



**Gambar 1. Stack Effect dengan prinsip rasio panjang**

Sumber: Kleiven (2003)

**Gambar 2. Vertikal Solar Chimney**

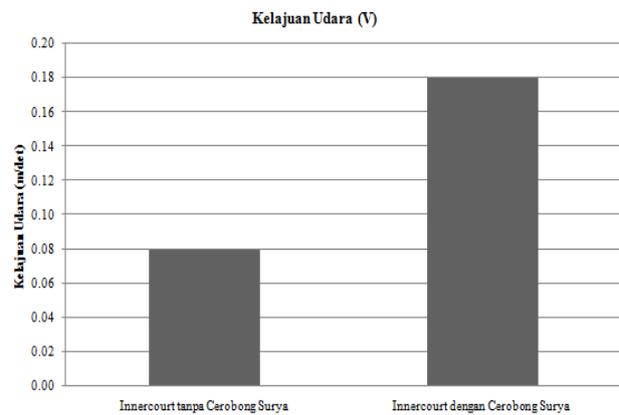
Sumber: Moore (1993)

**Gambar 3. Hasil Analisis Temperatur Udara (DBT) Innercourt tanpa cerobong surya dan Innercourt dengan cerobong surya**

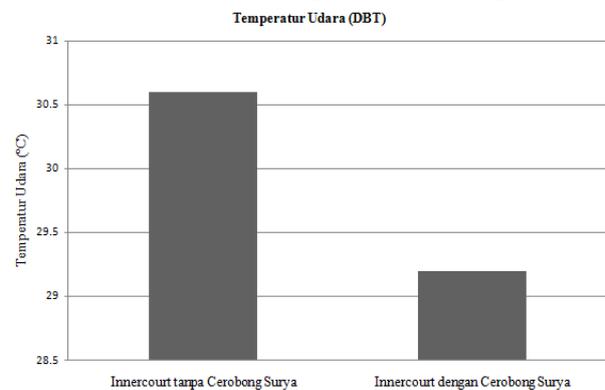
**Gambar 4. Hasil Analisis Kelajuan Udara (v) Innercourt tanpa cerobong surya dan Innercourt dengan cerobong surya**

**PEMBAHASAN**

Hasil analisis terhadap rata-rata



temperatur udara dan rata - rata kelajuan udara pada keadaan *Innercourt* tanpa cerobong surya dan *Innercourt* dengan cerobong surya



memperlihatkan hasil yang berbeda. Pada hasil analisis terhadap rata - rata temperatur udara, *Innercourt* tanpa cerobong surya lebih tinggi dibandingkan dengan *Innercourt* dengan cerobong surya. Sedangkan pada hasil analisis terhadap rata- rata kelajuan udara, *Innercourt* tanpa cerobong surya lebih rendah dibandingkan dengan *Innercourt* dengan cerobong surya.

Hasil analisis menunjukkan temperatur udara pada *Innercourt* tanpa cerobong surya

lebih tinggi yaitu sebesar 30,6°C dari *Innercourt* dengan cerobong surya yaitu sebesar 29,2°C. Selisih temperatur udara antara *Innercourt* tanpa cerobong surya dengan *Innercourt* dengan cerobong surya yaitu sebesar 1,4°C. Temperatur udara pada *Innercourt* tanpa cerobong surya lebih tinggi 4,6% daripada *Innercourt* dengan cerobong surya.

Hasil analisis menunjukkan kelajuan udara pada *Innercourt* tanpa cerobong surya lebih rendah yaitu sebesar 0,08 m/det dari *Innercourt* dengan cerobong surya yaitu sebesar 0,18 m/det. Selisih kelajuan udara antara *Innercourt* tanpa cerobong surya dengan *Innercourt* dengan cerobong surya yaitu sebesar 0,10 m/det. Kelajuan udara pada *Innercourt* dengan cerobong surya lebih tinggi 113,16% daripada *Innercourt* tanpa cerobong surya.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dari hasil penelitian didapatkan bahwa cara yang baik dalam meningkatkan kelajuan aliran udara adalah dengan meningkatkan temperatur udara di bagian atas *Innercourt* agar udara yang lebih dingin di bagian bawah dapat bergerak ke atas sehingga terjadi peningkatan kelajuan aliran udara di area koridor.

Penelitian yang telah dilakukan merupakan upaya untuk mengetahui keefektifan *Innercourt* dengan menggunakan cerobong surya dalam meningkatkan kelajuan udara pada ventilasi bangunan. Penelitian yang dilakukan merupakan eksperimental menggunakan data pengukuran lapangan dengan kondisi *Innercourt* tanpa cerobong surya dan *Innercourt* dengan cerobong surya.

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatlah simpulan antara lain sebagai berikut: (1) Temperatur Udara lebih rendah pada kondisi *Innercourt* dengan cerobong surya

daripada *Innercourt* tanpa cerobong surya; (2) Kelajuan Udara lebih tinggi pada kondisi *Innercourt* dengan cerobong surya daripada *Innercourt* tanpa cerobong surya; dan (3) Dengan meningkatnya kelajuan udara pada kondisi *Innercourt* dengan cerobong surya dapat menurunkan temperatur udara pula serta memberikan kenyamanan termal di koridor.

### Saran

Dalam menerapkan cerobong surya pada bangunan agar dapat meningkatkan kenyamanan termal ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu: Dibutuhkan material yang dapat menyerap panas pada bagian atap sehingga peningkatan kelajuan udara juga dapat terjadi untuk mendapatkan kenyamanan termal dalam bangunan; Konstruksi atap bangunan yang digunakan untuk penempatan cerobong surya haruslah mampu menopang beban dari konstruksi cerobong surya; Konstruksi cerobong surya sebaiknya menyatu dengan konstruksi atap bangunan agar lebih kuat dan efisien sehingga dapat menghindari kebocoran dari air hujan; dan Menjaga agar tidak terjadi kebocoran pada atap lapisan dalam, karena akan berdampak pada kenyamanan ruang dalam.

## DAFTAR PUSTAKA

- Giovanni, B. (1976). *Man, Climate and Architecture*. London: Applied Science Pub. Ltd.
- Ingersoll, Koenigsberger, Szokolay, Mayhew. (1973). *Manual of Tropical Housing and Building; Part I Climatic Design*. London: Longman Group Limited.
- Koenigsberger, Ingersoll, Mayhew, Szokolay. (1973). *Manual of Tropical Housing and Building, Part I, Climatic Design*, Dai Nippon Printing Co., New York.
- Lechner, N. (2007). *Heating, Cooling, Lighting, Metode Desain Untuk Arsitektur*. Jakarta: PT.Raja Grafindo Utama.

- Lippsmeier, Georg. (1997). *Bangunan Tropis*. Jakarta: Erlangga.
- Mangunwijaya, YB. (1980). *Pasal-Pasal Penghantar Fisika Bangunan*. Jakarta: Gramedia.
- Nur, Aristo Novia. (2001). *Pengaruh Dimensi Atrium Terhadap Distribusi dan Kecepatan Pergerakan Udara Pada Bangunan Perkantoran Berlantai Banyak Dengan Denah Bujur Sangkar dan Berventilasi Alami Para-para*, Bandung: Jurusan Teknik Arsitektur ITB
- Nugroho, Agung M. (2006). *Evaluating of Parametric for Development of Vertical Solar Chimney Ventilation in Hot and Humid Climate*, Journal of Asian Architecture and Building Engineering/ May 2006.
- Nugroho, Agung M. (2006). *Possibility To Use Solar Induced Ventilation Strategies in Tropical Conditions By Computational Fluid Dynamic Simulation*, Journal of Asian Architecture and Building Engineering/ May 2006.
- Saxon, Richard. (1983). *Atrium Building*, New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Szokolay, Steven V. (2008). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*, 2<sup>nd</sup>ed., Oxford: Architectural Press Elsevier.
- Watson, Donald. (1983). *Climatic Building Design*. McGraw Hill Book Company.
- Yeang, Ken. (1994). *Bioclimatic Skyscraper*. London: Artemis London Limited.



