

VENTILASI SOLAR CHIMNEY SEBAGAI ALTERNATIF DESAIN PASSIVE COOLING DI IKLIM TROPIS LEMBAB

Yuswinda Febrita

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

yf_winda@yahoo.co.id

ABSTRAK

Daerah yang beriklim tropis adalah daerah yang disinari matahari sepanjang tahun. Ini adalah potensi yang dapat digunakan untuk menghasilkan buoyant flow untuk menambah kecepatan udara di dalam bangunan. Penggunaan solar chimney pada bangunan merupakan salah satu cara untuk meningkatkan ventilasi alami di dalam bangunan selain cross ventilation dan stack effect.

Studi ini dilakukan dengan jalan membandingkan beberapa hasil penelitian yang dilakukan oleh Jyotirmay (2006), Nugroho (2006) dan Chitsomboon (2004), dimana pokok bahasan sama yaitu mengenai solar chimney ventilation. Perbandingan tersebut akan menjelaskan sampai sejauh mana parameter desain solar chimney ventilation dapat meningkatkan kecepatan udara di dalam bangunan di daerah tropis lembab.

Hasil dari studi ini didapatkan bahwa parameter desain solar chimney ventilation yaitu tinggi, panjang, lebar dan material sangat mempengaruhi peningkatan kecepatan udara di dalam bangunan di daerah tropis lembab.

Keyword: ventilasi solar chimney, desain passive cooling, iklim tropis lembab

PENDAHULUAN

Kenaikan biaya energi dan kesadaran lingkungan terutama di negara berkembang, mendorong para peneliti di seluruh dunia khususnya di negara berkembang untuk mencari alternatif ventilasi alami dan pendinginan bangunan baik pada bangunan komersil maupun rumah tinggal. Kondisi iklim di daerah Tropis mempunyai karakteristik; temperatur udara tinggi, kelembaban relatif tinggi dan kecepatan angin yang rendah yang membuat kondisi lingkungan tidak nyaman. Beberapa studi yang berkaitan dengan sistem thermal di daerah tropis lembab melihat bahwa kecenderungan masalah yang dihadapi adalah sama yaitu besarnya beban panas dalam bangunan yang berpengaruh terhadap pembentukan suhu udara dalam ruang.

Desain *Passive Cooling* pada rumah tinggal di daerah iklim tropis merupakan masalah yang paling sulit dipecahkan. Sedangkan desain tempat tinggal yang baik yaitu dapat memelihara lingkungan dalam rumah dengan baik dan nyaman tanpa penggunaan peralatan mekanis.

Szokolay (1987), memaparkan metoda pendinginan pasif yang optimal untuk iklim tropis lembab adalah efek pergerakan angin, yaitu pendinginan fisiologis yang tidak hanya bergantung dari kecepatan angin tetapi juga aktivitas dan pakaian yang digunakan oleh manusia. Pada metoda pendinginan pasif ini dapat meluaskan zona kenyamanan yang dirasakan oleh manusia.

Salah satu jenis penghawaan alami adalah efek cerobong (*stack effect*). Satwiko (1994), memaparkan bahwa pergerakan udara yang diciptakan oleh efek cerobong (*stack effect*) biasanya tidak cukup untuk mencapai pendinginan fisiologis, karena kurang dari kecepatan udara yang direkomendasikan untuk mendinginkan dari 0,15 sampai 1,5 m/s di iklim tropis.

Penelitian Agung Murti Nugroho dan Then Jit Hiung (2006) tentang *evaluating of parametric for development of vertical solar chimney ventilation in hot and humid climate*. Dalam penelitian ini digunakan program simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamic*) pada model rumah sederhana dengan menggunakan *vertical solar chimney*

ventilation, dihasilkan bahwa dengan penggunaan desain parameter *vertical solar chimney ventilation* (tinggi, lebar, panjang dan bahan) yang optimal menjadikan kecepatan udara meningkat (0,15m/s) baik untuk mendinginkan temperatur di dalam ruangan. Temperatur rata-rata di dalam ruang antara 26°C dan 29.5°C selama 10 – 15 jam, yang mana sekitar 0,5°C lebih rendah dari rumah sederhana yang normal tanpa *vertical solar chimney ventilation*. Penggunaan *solar chimney* pada bangunan merupakan salah satu cara untuk meningkatkan ventilasi alami sebagai konsekuensi memperbaiki kualitas udara di dalam bangunan.

Oleh sebab itu maka studi ini dilakukan untuk mengeksplorasi bagaimanakah pencapaian optimal dari parameter desain *solar chimney ventilation* (tinggi, panjang, lebar dan material) dapat meningkatkan kecepatan udara di dalam bangunan di daerah tropis lembab.

Daerah yang beriklim tropis adalah daerah yang disinari matahari sepanjang tahun. Ini adalah potensi yang dapat digunakan dalam menggunakan cahaya matahari sebagai energi untuk menghasilkan aliran daya apung udara yang dipanaskan (*buoyant flow*) untuk menambah kecepatan udara di dalam bangunan.

Pengaruh pergerakan udara yang diterapkan sekarang ini yaitu dengan ventilasi silang tidak cukup untuk menciptakan pendinginan fisiologis. Kecepatan udara yang dihubungkan dengan *natural convection* adalah relatif kecil, biasanya tidak lebih dari 2 m/det (Mills, 1992). Apakah ventilasi Solar chimney dapat meningkatkan kecepatan udara di dalam bangunan sehingga dapat menciptakan kenyamanan termal bagi penghuninya?

KAJIAN TEORI

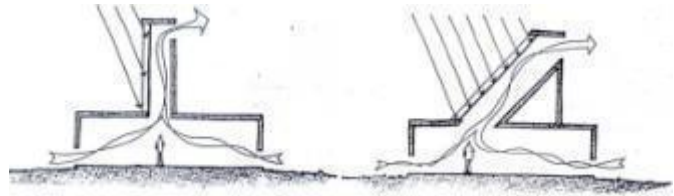
Sistem ventilasi adalah strategi untuk mencapai kualitas udara di dalam ruang yang merupakan dasar dari (*based on*) untuk mensuplai udara segar dalam ruang dan untuk meminimalkan (*dillution*) konsentrasi polusi dalam ruang, jumlah bukaan ventilasi diperlukan untuk menjaga kualitas udara tergantung dari kondisi alam dan dominasi sumber polusi pada ruang tersebut (Allard, 1998). Santamouris menyatakan bahwa *natural ventilation* digunakan tidak hanya untuk mensuplai udara segar untuk kebutuhan pengguna (*occupants*) dan untuk kebutuhan menjaga level kualitas udara (*maintain acceptable air quality*), tetapi juga untuk pendinginan (Santamouris, 1996).

Pada daerah tropis lembab dimana kelembaban mencapai 80% dan temperatur di luar ruang di atas kondisi *thermal comfort*, untuk mencapai kondisi *thermal comfort* strategi pendinginan pasif dengan sistem ventilasi merupakan strategi yang paling optimal. Sistem pendinginan pasif ini memiliki dua prinsip yaitu: untuk penghapusan panas dan untuk *physiological cooling*. Penghapusan panas dalam ruang adalah melihat berapa kali dalam satu jam udara panas dalam ruang terganti, sedangkan untuk kecepatan angin (*air velocity*) merupakan pendinginan secara fisik terhadap pengguna bangunan. Untuk area *central living* dibutuhkan pola aliran angin tinggi. Sedangkan untuk area istirahat (ruang tidur) pola aliran angin rendah (Kwok, 1998). Pada standard yang telah ditetapkan pada table Szokolay, setiap fungsi ruang (sesuai aktifitas) memiliki kebutuhan N (*air change*) tertentu perjam (Szokolay, 1987). Kebutuhan *air change* ini untuk menghapus panas yang ada dalam ruang, sedangkan kebutuhan kecepatan angin setiap fungsi ruang memiliki standard kecepatan angin sesuai fungsi ruang (McLyntire, 1980).

Penghawaan berarti kedua-duanya, yaitu penyediaan udara segar dan pendinginan konvektif, yaitu terdiri dari pergerakan udara dengan kecepatan relatif rendah. Daya gerakannya dapat bersifat termal atau bersifat dinamik (angin).

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 (Awbi, 2004). Dengan menggunakan radiasi matahari yang berlimpah di daerah tropis ini, menghasilkan *buoyant flow*.

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 panas secara 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).



Gambar 1. Vertikal Solar Chimney.
(Moore, 1993)

Tekanan *stack effect* dihasilkan oleh perbedaan dan kerapatan udara dengan temperatur, yaitu udara panas naik dan udara dingin turun. Pada waktu musim panas walaupun perbedaan temperatur udara pada umumnya lebih sedikit. Kerapatan dari udara kering, bervariasi dengan temperatur. Semakin tinggi kolom udara semakin besar perbedaan tekanan jika pada kolom ada perbedaan temperatur. Perbedaan tekanan yang dihasilkan oleh kolom udara dengan ketinggian tertentu dengan perbedaan temperatur antara udara di luar dan di dalam bangunan pada tekanan dan temperatur yang standar adalah kira-kira:

$$\Delta P = 3465 \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_i} \right) [\text{Pa}]$$

di mana T_o dan T_i adalah temperatur di luar dan di didalam bangunan, (dalam Kelvin = Celcius+273)

Stack induced ventilation dapat ditingkatkan dengan *solar induced ventilation*. Dalam keadaan dimana efek angin tidak baik ditangkap kemudian *solar-induced ventilation* mungkin merupakan suatu alternatif yang baik. Strategi ini berdasarkan pada pemanasan di bangunan yang dihasilkan oleh radiasi matahari yang menghasilkan perbedaan temperatur yang lebih besar. 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).

Yang kedua, bentuk *solar chimney* telah lama dikenal, dan diterapkan pada disain arsitektur vernakular. Secara umum, pengaruh pergerakan udara tidak secara langsung menghisap udara dalam bangunan. Digunakan sebagai ventilasi bangunan (seperti bangunan dengan *double skin*). *Stack chimney* pada umumnya dirancang dan dikombinasikan dengan menara angin di daerah iklim panas kering. Di banyak jenis bangunan yang berventilasi, angin dianggap lebih penting dibanding *buoyancy*. Ini sebabnya *wind induced* pada arus ventilasi lebih kuat dari arus *stack induced*, khususnya, di dalam bangunan satu lantai. (Satwiko, 1993).

Metoda lain yang digunakan di area dengan ketinggian panas matahari yang besar. Dalam hal ini adalah atap miring yang luas digunakan efektif untuk mengumpulkan energi matahari (Awbi, 2004). Disain *solar roof* yang lain disebut *solar roof* Nigerian yang telah dipelajari oleh Barozzi, menggunakan fisik dan model numerical (Computational Fluid Dynamics Codes) dan data dari Ife, Nigeria. Hasil studi menemukan bahwa keduanya memberi hasil hampir serupa. CFD mensimulasikan arus angin, kedua jenis model memberikan indikasi adanya *buoyancy* diarahkan ventilasi di dalam model. Kecepatan udara di zone penghuni terlalu rendah untuk menciptakan pendinginan fisiologis. *Solar chimney* digunakan secara ekstensif di dalam eksperimen Barozzi dengan bentuk cerobong. Di dalam studinya *Solar*

chimney lebih tepat diletakkan pada atap (Barozzi, 1992).

METODE PENELITIAN

Studi ini dilakukan dengan jalan membandingkan beberapa hasil penelitian yang dilakukan oleh Jyotirmay (2006), Nugroho (2006) dan Chitsomboon (2004), dimana pokok bahasan sama yaitu mengenai *solar chimney ventilation*. Dari beberapa penelitian tersebut dilakukan studi perbandingan yang bertujuan untuk menentukan sampai sejauh mana parameter desain *solar chimney ventilation* (tinggi, panjang, lebar dan material) dapat meningkatkan kecepatan udara di dalam bangunan di daerah tropis lembab. Perbandingan demikian akan menjelaskan unsur-unsur baru khas dari *solar chimney ventilation*.

Setelah melakukan analisa didapatkan perbedaan dan persamaan dari tiga penelitian di atas, serta didapatkan ciri-ciri yang penting dari setiap penelitian. Selain itu, ketiga penelitian tersebut hubungannya dianalisis untuk mendapatkan hipotesis yang akan menjawab pencapaian optimal dari parameter desain *solar chimney ventilation* (tinggi, panjang, lebar dan material) dapat meningkatkan kecepatan udara di dalam bangunan di daerah tropis lembab

HASIL PENELITIAN

Studi ini meninjau sampai sejauh mana pencapaian optimal dari parameter desain *solar chimney ventilation* (tinggi, panjang, lebar dan material) dapat meningkatkan kecepatan udara di dalam bangunan di daerah tropis lembab.

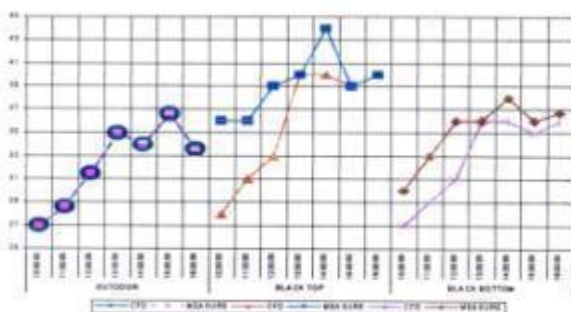
Studi ventilasi *solar-induced* yang dilaksanakan Agung Nugroho (2006) meliputi percobaan aerodinamika pada permasalahan *buoyancy* dimana bisa dilakukan dengan model fisik (pengukuran) dan metoda simulasi

komputer CFD. Model eksperimennya adalah ruang percobaan dengan ukuran panjang 20 ft, lebar 12 ft, tinggi 10 ft dengan partisi metal. Pipa PVC chimney sebagai pilot testing dengan ukuran tinggi 12 ft dan diameter 0.5 ft.



Gambar 2. Model Percobaan dan pilot testing pipa PVC (Nugroho, 2006)

Validasi program dilakukan dengan membandingkan pengukuran pilot testing dengan CFD. Perbedaan rata2 antara pengukuran dan simulasi untuk temperatur 0%; untuk black bottom pipe sekitar 3% dan perbedaan maximum black top pipe 8% pada jam 10 pagi.

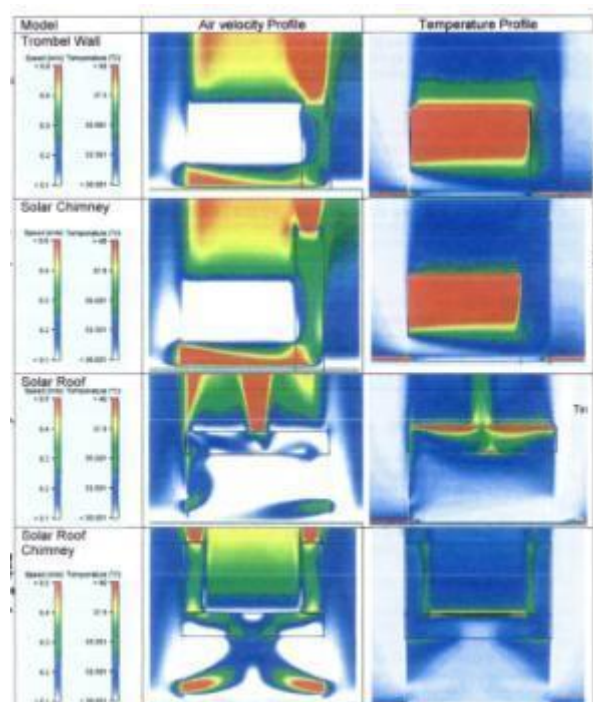


Gambar 3. Perbandingan pengukuran dengan pilot testing dan CFD (Nugroho, 2006)

Simulasi dengan model Trombel Wall dan Solar Chimney dapat meningkatkan kecepatan angin 0,5m/s, tergantung posisi bukaan, tetapi temperature indoor 40°C menyebabkan uncomfortable. Simulasi dengan Solar Roof dapat meningkatkan air flow 0,3m/s, air velocity hanya terjadi pada inlet, dengan double roof mencegah panas masuk ke ruang. Simulasi Solar Roof Chimney

dapat meningkatkan air velocity dan sedikit memasukkan panas dari luar.

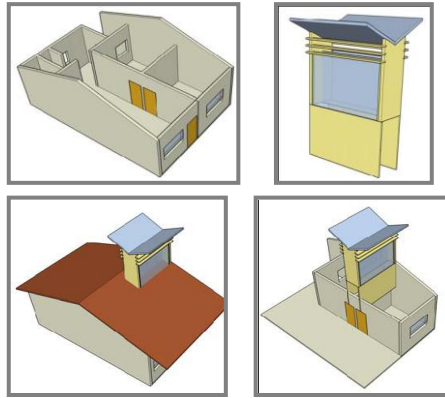
Hasil dari penelitian yang dilakukan Agung Nugroho yaitu solar chimney dapat meningkatkan kecepatan udara tetapi meningkatkan panas dalam ruang. Solar roof mengurangi panas masuk ke ruangan tetapi kecepatan angin rendah. Penggunaan solar wall dapat meningkatkan kecepatan angin tetapi tergantung orientasinya. Solar roof chimney merupakan modifikasi antara solar roof dan solar chimney.



Gambar 4. Hasil Simulasi CFD pada Solar Induced Ventilation (Nugroho, 2006)

Studi yang dilakukan pada rumah sederhana di Malaysia, Untuk mencapai solar chimney vertikal yang maksimum, model solar chimney vertikal ditempatkan di tengah dua kamar tidur, 2 m di atas permukaan lantai. Ukuran kamar tidur dengan tinggi 3 m, lebar 3,5 m dan panjang 3 m dan mempunyai satu jendela. Dihasilkan bahwa dengan penggunaan desain parameter vertical solar chimney ventilation (tinggi, lebar, panjang dan bahan) yang optimal menjadikan

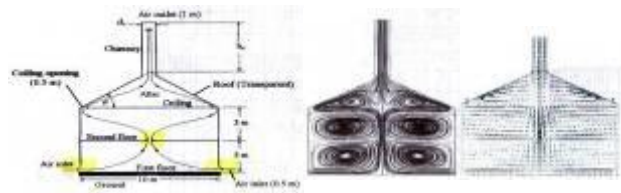
kecepatan udara meningkat (0,15m/s) baik untuk mendinginkan temperatur di dalam ruangan. Temperatur rata-rata di dalam ruang antara 26°C dan 29.5°C selama 10 – 15 jam, yang mana sekitar 0,5°C lebih rendah dari rumah biasa tanpa vertical solar chimney ventilation.



Gambar 5. Aplikasi model *Vertical Solar Chimney* Rumah Petak di Malaysia (Nugroho, 2006)

Penelitian yang dilakukan oleh Chitsomboon (2004) untuk membuktikan konsep, suatu ruang yang dipanaskan untuk menciptakan udara yang mengalir pada outlet yang tinggi oleh dorongan buoyancy, dan mempengaruhi udara yang lebih dingin ke dalam ruang untuk menggantikan udara panas yang keluar. Metodologi yang digunakan mengarahkan ke pemindahan panas yang dikumpulkan di dalam rumah pada waktu yang sama menyediakan efek pendinginan oleh kecepatan angin. Untuk membuktikan kebenaran dari konsep ini, perhitungan yang kuantitatif dibuat CFX dengan penggunaan program CFD. Dan hasil perhitungan secara numerical sesuai dengan solusi teoritis. Dengan sampel Rumah lantai dua dengan bukaan inlet di lantai 1 di atas permukaan tanah, dan lubang di tengah lantai 2, 2 lubang di plafond dekat di kedua sisi dinding dan chimney diletakkan di atas atap dari bahan transparan. Udara panas di dalam ruang atap dihasilkan dari radiasi matahari langsung yang dihasilkan atap transparan. Didapat data distribusi kecepatan angin,

distribusi tekanan udara, distribusi temperatur dan kerapatan udara dengan tinggi solar chimney 3m, 5m dan 7m, dan variasi kemiringan sudut atap 15°, 30°, 45° dan 60°.



Gambar 6. Model Fisik bangunan, pola *streamline* dan pola *Velocity vectors* (Chitsomboon, 2004)

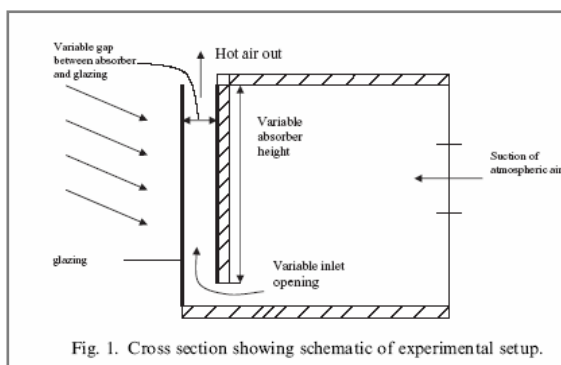
Setelah didapat data kemudian dilakukan analisis terhadap fungsi ventilasi yang dipengaruhi kemiringan atap dengan ketinggian chimney dan insulasi sebagai parameter, tercatat bahwa fungsi ventilasi meningkat dengan kemiringan atap sekitar 45°. Kecilnya ruang di bawah atap yang disebabkan kemiringan atap lebih panas daripada yang lebih besar yang sama-sama menerima panas solar dan udara panas tersebut meningkatkan buoyancy. Perilaku asymptotic tentang ventilasi menyatakan bahwa kemiringan atap 45° memiliki kecenderungan yang optimal untuk meningkatkan kecepatan angin. Penelitian yang dilakukan Chitsomboon menghasilkan bahwa diantara berbagai kemiringan atap yang dipelajari; kemiringan atap 45° terbukti jauh lebih baik, mempengaruhi kecepatan angin sekitar 0.8 m/s. Tinggi solar chimney pada atap (3, 5 dan 7 m) membantu mempengaruhi penambahan kecepatan udara, menghasilkan volume ventilasi ach sampai 90 per jam.

Penelitian yang dilakukan oleh Jyotirmay (2006) untuk menyelidiki kekurangan dan kelebihan dari empat tipe Solar Chimney. Desain solar chimney untuk ventilasi dengan satu atau lebih dinding vertikal transparan dari bahan kaca untuk memasukkan radiasi

panas matahari yang memanaskan udara di dalam saluran untuk menghasilkan stack effect.

Vertical Solar Chimney

Gambar 8 adalah suatu kamar berbentuk kubus dengan ukuran 1m x 1m x 1m . Penyerap/peredam vertikal dari cerobong dibuat dengan menyediakan bukaan untuk ruang udara masuk ke arus ketika arah arus naik. Lembaran aluminum tebal 1mm yang dicat hitam untuk menyerap radiasi panas matahari. Pada sisi yang sama bingkai teleskopis dibuat dari kaca tebal 4 mm. Bukaan dengan ukuran 0.3 x 1m dibuat untuk mengisap udara. Pada semua sisi yang diarahkan dilapis dengan menggunakan thermocole tebal 2.5 cm untuk mengurangi pemindahan kalor. Dengan cara yang sama, 5 cm isolasi dibuat di bagian belakang dari aluminium untuk mencegah aliran udara memanaskan kamar. Pemasangan kaca berorientasi ke selatan. Dinding dengan ketinggian dua kali lipat dan lebar tiga kali lipat dibandingkan model diletakkan pada sisi pengisap untuk mengurangi efek kecepatan angin lingkungan. Tingkat berat aliran angin maksimum yang dipengaruhi energi matahari telah ditemukan untuk 261.4544 kg per jam dalam ruangan 27 m², pada radiasi matahari 890.8 W/m² pada permukaan vertikal untuk tinggi cerobong 1m.



Gambar 7. Potongan *Vertical Solar Chimney* (Jyotirmay 2006)

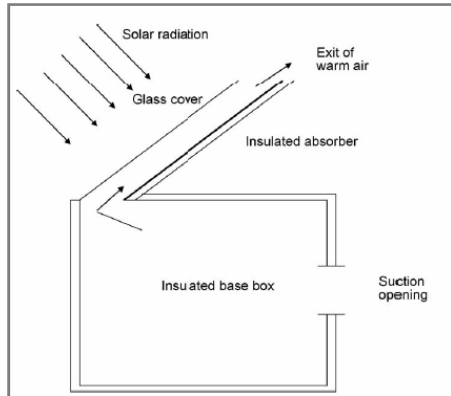
Cerobong penyerap vertikal mempunyai keuntungan yang dapat dengan mudah terintegrasi dengan fasade gedung yang mempunyai jendela ukuran kecil 1 m di bagian selatan yang merupakan tinggi efektif dan dapat juga digunakan sebagai solar chimney. Batasan yang paling besar pada tata ruang ini adalah pada waktu musim dingin, sewaktu matahari menuju ke selatan pada garis lintang yang relatif lebih rendah, peredam vertikal yang menghadap selatan menangkap baik jumlah radiasi matahari selama musim panas, dan selama musim panas, ventilasi bisa menjaga bangunan tetap sejuk. Radiasi yang timbul akibat ketinggian matahari dikurangi dengan dinding penyerap vertikal.

Inclined Solar Chimney (dimiringkan)

Secara konseptual, solar chimney yang dimiringkan serupa dengan vertikal solar chimney. Perbedaannya adalah bahwa penyerap dimiringkan pada beberapa sudut yang sesuai untuk menangkap radiasi matahari sebanyak mungkin.

Percobaan dilaksanakan pada kamar yang berbentuk kubus dengan dimensi yang sama dengan kamar yang digunakan dalam cerobong vertikal. Cerobong matahari yang dipisahkan dimiringkan pada sudut 45° di puncak dari kamar itu. Untuk mengumpulkan radiasi matahari dibuat penyerap dari bahan lembaran aluminum 1 mm yang dicat hitam. Di depan penyerap ditutup dengan kaca tebal 4 mm , dengan sela-udara 0.35 m, dengan cara yang sama bagian belakang penyerap dipasang lembaran thermocole tebal 5 cm untuk mengurangi panas yang keluar. Konstruksi pintu masuk dan keluar pada cerobong dijaga sama. Puncak dari kamar dasar dibuat seperti daun jendela dorong horizontal sebagai pintu masuk. Pintu masuk dan keluar cerobong adalah 0.35 m x 1.0 m mencakup lebar yang keseluruhan dari dasar kamar itu. Semua sisi kamar yang terekspos

menggunakan insulasi thermocole tebal 2.5cm, untuk mengurangi pemindahan kalor dengan lingkungan. Kamar dasar dilengkapi dengan bukaan ukuran 0.3 m x 1 m pada satu sisi vertikal untuk mengisap udara dari atmosfer. Laju aliran udara maksimum diperoleh untuk sela-udara 0.3 m dan tingginya pintu masuk 0.3 m. Pada tengah hari, laju aliran udaranya paling tinggi mencapai 273.5397 kg/h.



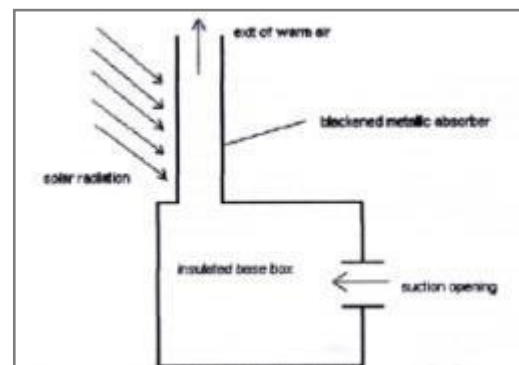
Gambar 8. Potongan *Inclined Solar Chimney* (Jyotirmay, 2006)

Keuntungan yang terbesar dari bentuk cerobong yang dimiringkan 30° sampai 45° sepanjang musim panas di lokasi geografis seperti India ketika cerobong vertikal kurang efektif dalam menangkap jumlah maksimum radiasi matahari karena ketinggian matahari. Di daerah dekat garis katulistiwa, kemiringan lebih tinggi menyediakan stack effect. Kendala ruang adalah yang paling besar menghambat diterapkannya bentuk ini karena sistem ini diletakkan di atas atap dan memerlukan ruang yang sangat besar untuk instalasi itu. Di jaman budaya apartemen tiap-tiap rumah tidak mempunyai atap sendiri untuk menggunakan sistem ini.

Cylindrical Chimney

Kedua tipe solar chimney tersebut di atas mempunyai kerugian pada kesulitan konstruksi. Oleh karena itu suatu pengaturan yang lebih sederhana dengan menggunakan cerobong hitam metalik (yang serupa dengan

cerobong industri) telah diuji. Percobaan cerobong silindris pada kamar yang berbentuk kubus dengan ukuran 1m x 1m x 1m. di satu sisi atasnya diletakkan bukaan ukuran 0.3 x 1m tinggi cerobong 0.5m untuk mengisap udara dari lingkungan. Semua sisi yang diekspos menggunakan insulasi thermocole tebal 2.5 cm untuk mengurangi pemindahan kalor. Cerobong silindris tinggi 2m ydengan garis tengah 28 cm dicat hitamn. Laju aliran udara yang dihasilkan adalah 119.6564 kg/h yang telah dipanaskan radiasi matahari 1064 W/M².



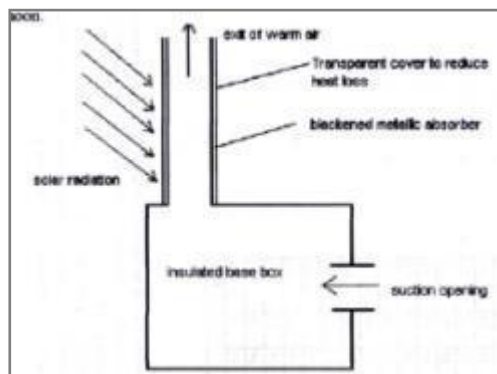
Gambar 9. Potongan *Cylindrical Chimney* (Jyotirmay 2006)

Cerobong silindris lebih hemat biaya, sederhana dalam konstruksi dan memerlukan ruang minimum untuk instalasinya. Tetapi koefisien heat loss relatif tinggi dengan cerobong metalik ini, tingkat arus ventilasi terbatas di dalam cerobong. Kelemahan ini mendorong ke arah pengembangan dari cerobong silindris dengan tutup yang transparan.

Cylindrical Chimney with Transparent Cover

Konsep dari menggunakan kaca sebagai penutup penyerap di dalam alat pemanas air matahari, suatu tutup yang transparan pada cerobong silindris metalik digunakan untuk mengurangi heat loss. Hasil percobaan ini menunjukkan adanya peningkatan yang luar biasa di dalam ventilasi melalui cerobong dan heat loss dapat dikurangi. Aliran massa udara

maksimum adalah 147.8152 kg/h diukur pada jam 12.30 tengah hari.



Gambar 10. Potongan *Cylindrical Chimney with Transparent Cover* (Jyotirmay 2006)

K-Type thermocouples dengan ketelitian temperatur sampai 0.10°C digunakan untuk pengukuran temperatur pada pintu masuk udara, udara keluar, dan permukaan dinding peredam pada semua empat sisi solar chimney. Dengan cara yang sama kecepatan

udara diukur dengan anemometer kawat panas yang mempunyai ketelitian 0.01m/s.

Penyelidikan yang bersifat percobaan dari empat bentuk solar chimney yang berbeda dianalisa dan hasilnya dapat dilihat Tabel 1. vertical solar chimney yang terbaik dan cocok untuk daerah Jaipur. Solar chimney yang dimiringkan (*inclined solar chimney*) lebih cocok untuk mempengaruhi tingkat arus ventilasi yang diperlukan.

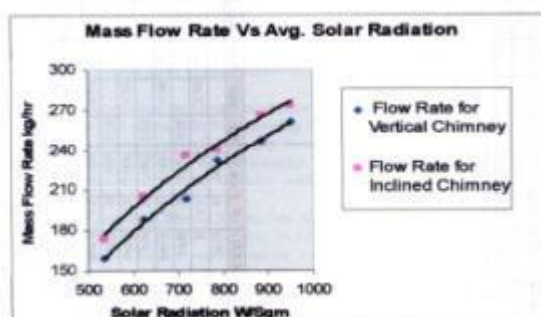
Tingkat arus ventilasi dapat meningkat 15.94% ketika peredam vertikal dimiringkan pada 45° pada radiasi matahari 949.53 W/M². Lebih lanjut, tingkat arus ventilasi meningkat 36.85% ketika cerobong matahari ini ditutup transparan.

Tabel 1. Perbandingan Konfigurasi empat *Solar Chimney*

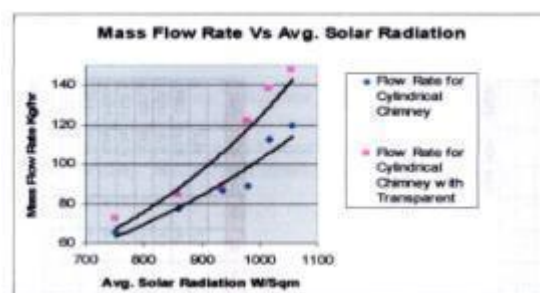
a). Flat Absorber Solar Chimneys		
Avg. Solar Radiation W/m ²	Mass Flow Rate Kg/hr	
	Vertical Chimney	Inclined Chimney
536.23	159.7777	173.4642
624.47	188.8282	205.3549
717.38	203.3534	235.7779
788.34	232.4039	240.8484
886.35	246.9291	266.2008
949.53	261.4544	273.5397

b). Cylindrical Solar Chimneys		
Avg. Solar Radiation W/m ²	Mass Flow Rate Kg/hr	
	Cylindrical Chimney (bare Absorber)	Cylindrical Chimney with Transparent Cover
752	65.70036	72.73212
860	77.42349	84.46584
935	86.81682	89.15721
979.5	89.15721	122.0074
1017.5	112.6247	138.4325
1057	119.6564	147.8152

(Jyotirmay 2006)



Gambar 11. Grafik *Mass Flow Rate* terhadap *Solar Radiation* untuk *Vertical Solar Chimney* dan *Inclined Chimney* (Jyotirmay 2006)



Gambar 12. Grafik *Mass Flow Rate* terhadap *Solar Radiation* untuk *Cylindrical Bare Chimney* dan *Cylindrical with transparent Cover* (Jyotirmay 2006)

Tabel 2. Perbandingan hasil penelitian Solar Chimney yang dilakukan oleh Jyotirmay (2006), Nugroho (2006) dan Chitsomboon (2004)

Penelitian	Bentuk Solar Chimney	Kecepatan Angin yang dihasilkan
Nugroho (2006)	model <i>vertical solar chimney</i> ditempatkan di tengah dua kamar tidur, 2 m di atas permukaan lantai.	kecepatan udara meningkat (0,15m/s), mendinginkan temperatur di dalam ruangan antara 26°C dan 29.5°C selama 10 – 15 jam
Chitsomboon (2004)	Tinggi <i>vertical solar chimney</i> 3m, 5m dan 7m, dan kemiringan sudut atap 45°	Menghasilkan kecepatan angin sekitar 0.8 m/s
Jyotirmay (2006)	<i>Inclined Solar Chimney</i> /dimiringkan 45°, bahan penyerap lembaran aluminium 1 mm yang dicat hitam, di depan penyerap ditutup dengan kaca tebal 4 mm , ukuran chimney 1m x 1m x1m dengan bukaan ukuran 0.3 x 1m	Tingkat arus ventilasi dapat meningkat 36.85% pada radiasi matahari 949.53 W/M ²

KESIMPULAN

- Suatu ruang yang dipanaskan untuk menciptakan udara yang mengalir pada outlet yang tinggi oleh dorongan *buoyancy*, dan mempengaruhi udara yang lebih dingin ke dalam ruang untuk menggantikan udara panas yang keluar.
- Parameter desain *solar chimney ventilation* yaitu tinggi, panjang, lebar dan material sangat mempengaruhi peningkatan kecepatan udara di dalam bangunan di daerah tropis lembab.
- Simulasi dengan model *Trombel Wall* dan *Solar Chimney* dapat meningkatkan kecepatan angin 0,5m/s, tergantung posisi bukaan, tetapi *temperature indoor* 40°C menyebabkan tidak nyaman. *Solar chimney* dapat meningkatkan kecepatan udara tetapi meningkatkan panas dalam ruang. Penggunaan solar wall dapat meningkatkan kecepatan angin tetapi tergantung orientasinya.
- *Solar Roof* dapat meningkatkan kecepatan angin 0,3m/s, kecepatan angin hanya terjadi pada inlet, dengan *double roof* mencegah panas masuk ke ruang. *Solar roof* mengurangi panas masuk ke ruangan tetapi kecepatan angin rendah.
- *Solar Roof Chimney* merupakan modifikasi antara *solar roof* dan *solar chimney*, dapat

meningkatkan kecepatan angin dan sedikit memasukkan panas dari luar.

- Rumah yang menggunakan *vertical solar chimney* dapat meningkatkan kecepatan angin 0.15m/s baik untuk mendinginkan temperatur. Suhu rata-rata di dalam ruangan 26°C dan 29.5°C selama 10-15 jam, dimana 0.5°C lebih rendah daripada rumah biasa.
- Kemiringan atap 45° terbukti jauh lebih baik, mempengaruhi kecepatan angin sekitar 0.8 m/s. Tinggi *solar chimney* pada atap (3, 5 dan 7 m) membantu mempengaruhi penambahan kecepatan udara, menghasilkan volume ventilasi ach sampai 90 per jam.
- *Solar chimney* yang dimiringkan dapat meningkatkan arus ventilasi sekitar 15.94%. Cerobong silindris dengan bahan metalik yang menggunakan panas matahari yang biasanya digunakan untuk bangunan industri dapat juga digunakan untuk ventilasi rumah tinggal menghasilkan tingkat arus ventilasi meningkat sekitar 36.85%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Allard, Francis, (1998), Natural Ventilation In Building, James & James (Science Publishers), London.
2. Awbi, hazim B., (2003), Ventilation of Building, Spon Press, London.

3. Chitsomboon, Tawit. (2004), Natural Ventilation in Building Using attic and Solar Chimney, Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE)”, Thailand.
4. Fuller, Moore, (1993), Environment Control System, Heating, Cooling, Lighting, Mc Graw Hill Inch, Amerika Serikat.
5. Jyotirmay, Mathur, (2006), Experimental Investigation On Four Different Types Of Solar Chimney, Advances in Energy Research (AER-2006).
6. Kwok, Allison G, (1998), Keeping Cool in The Tropics : Investigating a Naturally Ventilated House, National Pasif Solar Conference, American Solar Energy Society, Albuquerque.
7. Mclyntire, D.A, (1980), Indoor Climate, Applied Science Publishes LTD, London.
8. Mclyntire, D.A, (1980), Indoor Climate, Applied Science Publishes LTD, London.
9. Mills A.F, (1992), Heat Trans Boston: Irwin., p.293.
10. Nugroho, Agung M, (2006), Evaluating of Parametric for Development of Vertical Solar Chimney Ventilation in Hot and Humid Climate.
11. Nugroho, Agung M, (2006), Possibility To Use Solar Induced Ventilation Strategies in Tropical Conditions By Computational Fluid Dynamic Simulation.
12. Santamouris, M, (1996), Passive Cooling, Applied Science PublishesnLTD, London.
13. Satwiko, Prasato, (1994), Simulasi Perilaku Aerodinamika dan Termal Bangunan dengan Program Computational Fluid Dynamics (CFD).
14. Szokolay, SV, (1987), Thermal Design of Building, RAlA Education Division, Australia.