PASSIVE COOLING SEBAGAI PENGUDARAN ALAMI PADA RUMAH TINGGAL

Sri Kurniasih, ST., M.Ars
Dosen Tetap Teknik Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Budi Luhur
Universitas Budi Luhur , Jakarta, 12260
Telp (021) 585 3753 Ext 253, Fax (021)
Email : nkrnsh@gmail.com

Abstract
Building Convenience is closely connected with the natural conditions or the surrounding environment and the efforts of conditioning or arrangement space in the building. Problems encountered in the implementation of aspects of comfort in buildings depends on building objects encountered. For buildings that require quality residential absolute perfect then these requirements should be adopted and implemented. Architectural environmental problems that occur in the tropics are generally caused by excessive heat transfer from the space outside the building into the building and heat pressures that affect human comfort especially the comfort in the building. Humans will do anything to get the desired level of thermal comfort, especially in the building, one of which is the use of mechanical cooling is Air Conditioning (AC). Thus it can be formulated problems that often occur in residences is still widespread use of mechanical cooling in the residential, building design that does not take into consideration environmental aspects and local climate, there is still a lack of knowledge about the application of passive cooling / natural aeration. Based on the above issues and problems, hence the need for an assessment of passive cooling in residences. Passive cooling or forced-air cooling naturally is the best cooling room in sustainable architecture design. This study is intended as an architectural discourse that is expected to be literature in designing a building. Based on the discussion of case studies, it can be kind of passive cooling in residences can have different shapes depending on the local climate. The building is located in a hot humid climate like Indonesia, passive cooling focused on the use of natural ventilation are comfortable with different types of buildings. While the buildings in hot climates dried to obtain passive cooling using a small window, building construction massif, rocks and the wall color is bright, but it is also with the use of drain wind (wind scoops), wind towers, wind catcher and evaporation in the courtyard.

Key Words: thermal comfort, natural aeration, passive cooling, the local climate, application

1. Pendahuluan

Kenyamanan bangunan erat hubungannya dengan kondisi alam atau lingkungan disekitarnya dan upaya pengkondisian atau pengaturan ruang dalam bangunan. Permasalahan yang dihadapi dalam penerapan aspek kenyamanan pada bangunan tergantung pada obyek bangunan yang dihadapi. Untuk bangunan yang menghendaki kualitas hunian yang sempurna maka persyaratan tersebut mutlak harus diadopsi dan diterapkan. Penerapan ini akan lebih efisien bila dikaitkan dengan masalah hemat energi dalam bangunan yang bersangkutan.

Permasalahan lingkungan secara arsitektural yang terjadi pada daerah tropis pada umumnya disebabkan oleh adanya perpindahan panas yang berlebih dari ruang luar bangunan ke dalam bangunan dan tekanan panas yang mempengaruhi kenyamanan manusia terutama kenyamanan di dalam bangunan. Manusia akan melakukan apa saja untuk mendapatkan tingkat kenyamanan thermal yang diinginkan terutama di dalam bangunan, salah satunya adalah penggunaan pendinginan mekanik yaitu penggunanaan *Air Conditioning* (AC).

Penggunaan pendinginan mekanik (AC) ini bukanlah satu-satunya cara untuk mendapatkan suhu nyaman dalam ruang dan juga bukan merupakan cara yang terbaik. Hal ini disebabkan karena suatu pendinginan mekanik bila ditinjau dari segi perancangan yang berkelanjutan (*sustainable design*) hanya dapat digunakan bila penghindaran panas dan penggunaan pendinginan pasif (pengudaraan alami) belum juga cukup untuk mendapatkan suhu yang nyaman dalam ruang. Selain itu juga penggunaan pendinginan pasif (AC) pada bangunan akan menggunakan energi dengan jumlah yang cukup besar jika penggunaannya tidak terkendali.

Pada pendekatan perancangan untuk mendapatkan suhu yang nyaman dalam ruang dengan cara yang berkelanjutan (*sustainable*),

maka seorang perancang harus menerapkan tiga tingkatan pendekatan perancangan yaitu penghindaran panas, pendinginan pasif (pengudaraan alami), dan pendinginan mekanik (pengudaraan buatan). Dengan demikian penggunaan pendinginan mekanik (AC) merupakan alternatif terakhir untuk mendapatkan kenyamanan thermal dalam ruang. Namun, pada kenyataannya masih banyak bangunan rumah tinggal yang menggunakan pendinginan mekanik (AC) terutama pada bangunan rumah tinggal di perkotaan yang secara ekonomi taraf kehidupannya mapan.

Pendinginan pasif (*Passive Cooling*) atau pengudaraan secara alami merupakan pendinginan ruang yang terbaik dalam suatu rancangan arsitektur yang berkelanjutan (*sustainable architecture*). Selain bertujuan untuk konservasi alam dan kesehatan, pendinginan pasif juga bertujuan untuk membuat suatu rancangan atau desain yang kontekstual dengan lingkungan sekitar, sesuai dengan iklim setempat dan hemat energi serta menguntungkan bila ditinjau dari segi ekonomi bangunan. Berdasarkan issue dan permasalahan di atas, maka perlu adanya suatu pembahasan lebih lanjut mengenai pendinginan pasif pada rumah tinggal.

1.1 Permasalahan

Permsalahan yang timbul antara lain :

- Masih banyaknya penggunaan pendinginan mekanik pada rumah tinggal.
- Desain bangunan yang tidak mempertimbangkan aspek lingkungan dan iklim setempat
- Masih kurangnya pengetahuan tentang penerapan pendinginan pasif/pengudaraan alami.

1.2 Maksud dan Tujuan

a. Maksud
Pembahasan ini dimaksudkan sebagai wacana arsitektur yang diharapkan dapat menjadi literatur dalam merancang sebuah bangunan.

b. Tujuan
Dengan menerapkan pendinginan pasif atau pengudaraan alami pada rumah tinggal, diharapkan dapat menciptakan suatu ruang/bangunan yang nyaman secara thermis dan hemat dalam penggunaan energi.

1.3 Lingkup Pembahasan

Tulisan ini membahas tentang kenyamanan bangunan dari segi thermal dengan menerapkan pendinginan pasif pada rumah tinggal, yang meliputi pengertian pendinginan pasif, pergerakan udara, penggunaan pendinginan pasif (ventilasi), orientasi jendela pada bangunan, sistem pendinginan pasif dan studi kasusnya.

2.3. Pendingan Pasif

Untuk mendapatkan suhu yang nyaman dengan cara yang lebih berkelanjutan (*sustainable*) pada musim panas, seorang perancang harus menerapkan tiga tingkat pendekatan perancangan yaitu :

1. Penghindaran Panas

Pada tingkat ini, seorang perancang akan melakukan apa pun yang memungkinkan untuk meminimalisasi panas pada bangunan. Adapun strategi yang dapat dilakukan untuk penghindaran panas pada bangunan antara lain :

- Penggunaan bayangan pada bangunan
  Contohnya : dengan adanya kolom-kolom yang diekspose dan menjorok ke luar bangunan.
- Orientasi bangunan
  Arah hadap bangunan terhadap objek lain, dalam hal ini bangunan berorientasi terhadap matahari. Arah Utara-Selatan merupakan orientasi bangunan yang paling optimal untuk iklim tropis seperti Indonesia.
- Penggunaan warna
  Pemilihan warna pada bangunan dapat berfungsi sebagai peredam panas dan pemantulan cahaya matahari.
- Vegetasi
  Vegetasi dapat berfungsi sebagai *barrier* atau filterisasi terhadap panas dan angin yang berlebih yang masuk ke dalam bangunan.
- Penyekat bangunan
  Penyekat atau insulasi bangunan berfungsi sebagai pemisah atau pelindung untuk menetralisir area yang diinsulasi dari gangguan luar (panas dan bising) sehingga menjadikannya nyaman untuk ditinggali.
- Cahaya siang yang sesuai
- Mengendalikan sumber-sumber panas internal

2. Pendinginan Pasif (*Passive Cooling*)

Dengan beberapa sistem pendinginan pasif, sebenarnya suhu akan lebih rendah dan tidak hanya diminimalisasi seperti pada sistem penghindaran panas. Sistem pendinginan pasif ini meliputi penggunaan ventilasi untuk mengganti zona yang bersuhu tinggi menjadi bersuhu nyaman. Pendinginan pasif ini kan dibahas lebih lanjut pada makalah ini.

3. Pendinginan Mekanik

Pendinginana mekanik digunakan pada beberapa iklim yang terdapat waktu-waktu

dimana ketika usaha dari penghindaran panas dan pendinginan pasif masih saja tidak cukup untuk mendapatkan suhu yang nyaman dalam ruang. Penggunaan peralatan mekanis (Air Conditioning) hanya akan mendinginkan suhu panas yang tidak bisa didinginkan oleh kedua pendekatan perancangan di atas, dan konsekuensinya peralatan mekanis akan menggunakan energi dengan jumlah yang kecil bila penggunaannya terkendali.

Pendinginan Pasif (*Passive Cooling*) berhubungan dengan tampak bangunan dan teknologi yang digunakan untuk mendinginkan bangunan secara alami, seperti pembahasan teknologi pada proyek rumah pasif.[1]

Istilah "pasif" berarti tidak mengkonsumsi atau menggunakan energi seperti komponen peralatan mekanikal seperti pompa dan kipas angin.

Desain pendinginan pasif pada bangunan mencoba menggabungkan prinsip fisika bangunan pada kulit luar atau selubung bangunan yang berfungsi untuk :

1. Perpindahan panas secara perlahan ke dalam bangunan.
   Perpindahan panas terjadi secara alamiah dari tempat bertemperatur tinggi ke tempat bertemperatur rendah (dingin), sampai keduanya memiliki keadaan temperatur yang sama atau dalam keadaan seimbang.
   Seperti diketahui, panas berpindah dengan tiga cara yaitu **konduksi** (melalui material yang padat dan bersifat penghantar panas), **konveksi** (melalui udara yang bergerak ; contohnya, udara panas dari api unggun), dan **radiasi** (melalui gelombang elektromagnetik ; contohnya, panas Matahari sampai ke Bumi).
2. **Menghilangkan panas yang tidak dikehendaki dari suatu bangunan.**
   Pada iklim yang sejuk dengan pendinginan panas pada malam hari dapat dilakukan dengan adanya ventilasi. Sedangkan pada iklim panas lembab dengan panas yang tidak nyaman pada siang hari dan kelembapan pada malam hari, penggunaan ventilasi alami merupakan suatu hal yang terbaik dengan beberapa tipe pengkondisian udara panas dapat menghemat biaya.

3. METODE PEMBAHASAN

Metode pembahasan yang digunakan adalah deskriptif kualitatif. Yang dimaksud dengan deskriptif yaitu berupa uraian yang didapat dari data primer yang ada di lapangan dan teori-teori dasar terkait dari beberapa literatur. Sedangkan metode kualitatif dilakukan dengan menganalisa studi kasus berdasarkan teori dasar.

Adapun urutan metode yang digunakan secara umum adalah sebagai berikut :

1. Metode Deskriptif dengan mencari data primer di lapangan. Obyek yang diteliti adalah ketersediaan pengudaraan alami (*passive cooling*) pada rumah tinggal berdasarkan iklim setempat. Pencarian data studi literatur dilakukan dengan cara mencari teori-teori yang terkait dengan pengudaraan alami .
2. Metode Kualitatif yaitu analisa mengenai penerapan pengudaraan alami (*passive cooling*) pada rumah tinggal di berbagai iklim sehingga dapat diperoleh acuan atau pedoman dalam menciptakan suatu ruang/bangunan yang nyaman secara thermis dan hemat dalam penggunaan energi.

4. PEMBAHASAN

4.1. Penggunaan Pendinginan Pasif Berdasarkan Iklim Setempat

Pendinginan pasif lebih bengantung pada factor iklim daripada pemanasan pasif. Dengan demikian, strategi pendinginan pasif untuk iklim panas kering sangat berbeda dengan yang digunakan untuk iklim panas lembab.

A. **Iklim Panas Kering**

Iklim ini ditandai dengan panas yang berlebihan dengan udara yang kering serta suhu udara rata-rata 25ºC – 45ºC adalah yang terpanas & 10ºC yang terdingin disertai dengan kelembaban relatif yang sangat rendah. Ciri-ciri Iklim Panas Kering adalah sebagai berikut :

- Kelembaban rendah.
- Curah hujan rendah.
- Radiasi panas langsung tinggi.
- Suhu udara pada siang hari tinggi & pada malam hari rendah (45ºC dan -10ºC).
- Jumlah radiasi maksimal, karena tidak ada awan.
- Pada malam hari berbalik dingin karena radiasi balik bumi cepat berlangsung (cepat dingin bila dibandingkan dengan tanah basah/lembab).
- Menjelang pagi, udara & tanah benar-benar dingin karena radiasi balik sudah habis. Pada siang hari radiasi panas tinggi & akumulasi tertinggi pukul 15.00.
- Pada waktu sore hari sering terdengar suara ledakan batu-batuan karena perubahan suhu yang tiba-tiba drastis.

Berdasarkan cirri-ciri iklim tersebut di atas, maka perlu adanya suatu solusi desain agar

[1] http://www.wikipedia.com/passivecooling

kenyamanan penghuni dalam bangunan dapat dicapai. Strategi-stategi perancangan untuk iklim panas kering antara lain :

1. Konstruksi yang masif seperti batako, bata merah ataupun batu.
2. Permukaan dinding berwarna cerah.
3. Bukaan dinding *kecil* untuk mencegah radiasi sinar langsung & angin/debu kering masuk sehingga mempertahankan kelembaban.
4. Memperkecil bidang tangkapan matahari. Atap datar untuk menghindari angin kencang, karena curah hujan rendah.
5. Menambah kelembaban dalam ruang dengan air mancur yang dibawa angin sejuk.
6. Pola pemukiman yang rapat.
7. Bangunan efisien bila rendah, masif & padat.

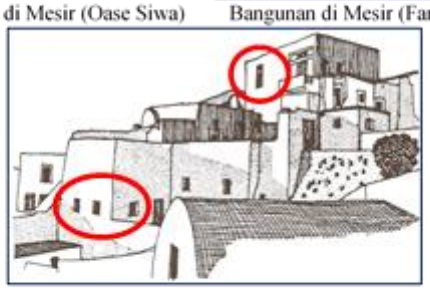
Penggunaan Pendinginan Pasif (*Passive Cooling*) pada Bangunan yang beriklim Panas Kering

a) Penggunaan jendela-jendela kecil, permukaan yang berwarna cerah dan konstruksi yang massif seperti batako, bata merah ataupun batu-batuan.

Bahan bangunan yang masif dapat memperlambat dan menunda suhu panas yang masuk melalui dinding dan juga dapat berperan sebagai peredam panas selama sehari. Jendela-jendela kecil ini bertujuan untuk meminimalisasi panas tambahan. Penggunaan jendela-jendela kecil ini dapat ditemukan di daerah Timur Tengah.

Bangunan di Mesir (Oase Siwa)

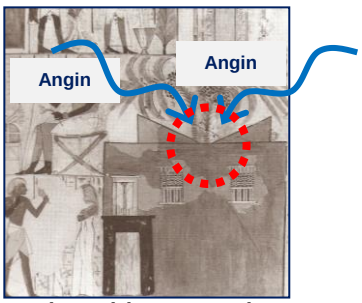
Bangunan di Mesir (Farafra City)



Di daerah dengan iklim panas dan kering secara tipikal memiliki bangunan dengan jendela kecil, warna cerah, serta konstruksi yang masif

b) Penggunaan Serokan Angin (*Wind Scoops*)

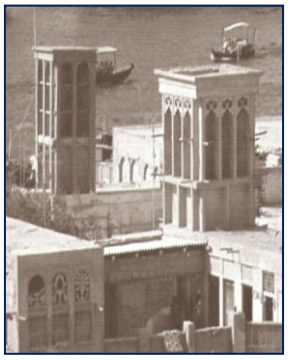
Serokan angin digunakan untuk memaksimalkan sistem ventilasi. Serokan angin ini banyak ditemukan di daerah Mesir (beberapa ribu tahun yang lalu) dan di kawasan Timur Tengah, Hyderabad, dan Pakistan sampai saat ini.



Rumah-rumah bangsa Mesir kuno menggunakan serokan angin untuk memaksimalkan proses ventilasi.

Penggunaan Menara Angin dengan banyak lubang (*Wind Tower*) dan Tangkapan Angin (*Wind Catcher*)

Menara angin juga mempunyai arti yaitu proses penguapan air untuk mendinginkan udara yang masuk. Beberapa menara angin mempunyai kendi untuk resapan air yang berada di dasarnya, sementara yang lainnya menggunakan air mancur atau kucuran air.

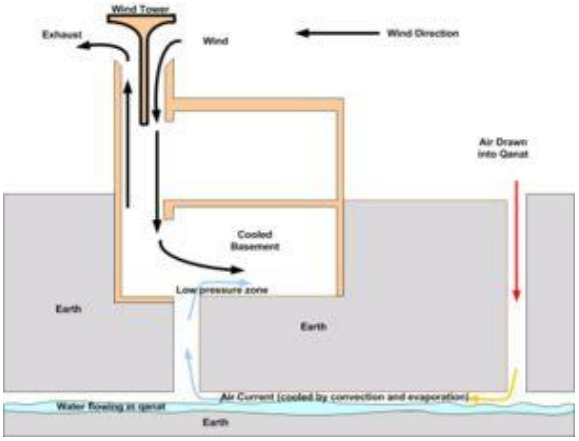


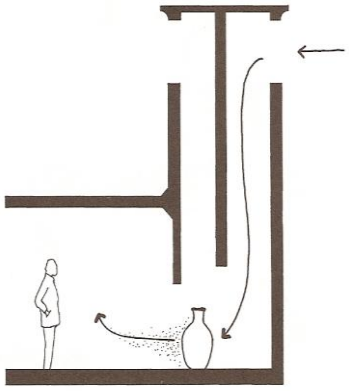
Menara angin di Dubai, dirancang untuk menangkap angin yang datang dari segala arah

Menara angin di daerah Hyderabad, Pakistan yang umumnya semua menghadap ke arah angin pada umumnya

Pada dasarnya prinsip menara angin (*wind tower*) sama dengan prinsip tangkapan angin (*wind catcher*). Jendela-jendela yang menganjur ke luar "*Mahrabiya*" merupakan tempat yang menyenangkan untuk duduk dan tidur karena kaso yang terbuat dari kayu yang lembut menahan sinar matahari, tetapi membiarkan hembusan angin melewatinya. Tangkapan angin (*wind catcher*) biasa ditemukan di daerah Persia, Iran dan Timur Tengah.

Sistem Menara Angin (*Wind Tower*) dan Tangkapan Angin (*Wind Catcher*)





Beberapa menara angin dan tangkapan angin di daerah beriklim panas kering mendinginkan udara yang masuk melalui proses penguapan.

Tangkapan angin (*wind catcher*) di gurun pasir di pusat kota Naeen, dekat Yazd, Persia

Mashrabiya di kawasan Arab Timur Tengah, memberikan ventilasi, keteduhan dan juga pendinginan dengan penguapan.

c) Menggantungkan Tikar Basah dan Penguapan pada *Courtyard*.

Di India, mendinginkan uadar yang masuk dengan menggantungkan tikar yang basah di depan lubang angin merupakan hal yang umum. Istana-istana di India mempunyai kolam renang, sungai kecil dan air terjun di dalam bangunannya dengan tujuan mengefektifkan proses pendinginan.

Pendinginan dengan pengupan pada *courtyard* (halaman gedung yang dikelilingi oleh tembok) secara khusus akan menjadi efektif jika *courtyard* tersebut merupakan sumber aliran udara bagi suatu bangunan.

Istana Panch Mahal, India. Pada malam hari 'platform' orkestranya telah menjadi tempat hiburan ketika air yang terdapat di situ mendinginkan suhu udara.

B. Iklim Panas Lembab

Iklim ini ditandai oleh panas yang belebihan disertai dengan kelembaban relatif tinggi pula. Suhu udara rata-rata di atas 20^{o}C dengan kelembaban relatif sekitar 80 – 90 %. Ciri-ciri Iklim Panas Lembab adalah sebagai berikut :

- Curah hujan tinggi.
- Kelembaban tinggi.
- Temperatur tinggi.
- Angin sedikit.
- Radiasi matahari sedang sampai kuat.
- Pertukaran panas kecil karena kelembaban tinggi, sehingga tidak mudah menguap.

Berdasarkan ciri-ciri iklim tersebut di atas, maka perlu adanya suatu solusi desain agar kenyamanan penghuni dalam bangunan dapat dicapai. Strategi-stategi perancangan untuk iklim panas lembab antara lain :

- Menghalangi radiasi matahari langsung dengan pembayangan sinar matahari
- Pada atap pemakaian bahan-bahan bersel atau berpori (berongga)
- Jarak bangunan yang jauh untuk meperlancar aliran udara
- Bahan-bahan yang dipakai mempunyai berat jenis (BJ) kecil /ringan, *time lag* rendah, kapasitas panas kecil, dimensi kecil, berat sendiri kecil dan konduktivitas panas rendah
- Curah hujan tinggi menggunakan Atap curam
- Kelembaban tinggi menggunakan dinding berpori serta mempunyai 2 jenis jendela, yaitu temporal dan tetap.

Penggunaan Pendinginan Pasif (*Passive Cooling*) pada Bangunan yang beriklim Panas Lembab.

a) Penekanan pada Sistem Ventilasi Alami pada jenis bangunan yang berbeda.

Di daerah yang beriklim sangat lembab, struktur yang ringan merupakan keuntugan tersendiri. Hal ini disebabkan oleh meskipun sinar matahari tidak sekuat di daerah beriklim kering, faktor kelembapan merupakan hal yang sangat tidak menyenangkan di mana setiap pemanasan tambahan yang berasal dari sinar matahari merupakan sesuatu yang sangat tidak menyenangkan juga. Dengan demikian bentuk bangunan di daerah beriklim panas lembab berbeda-beda.

Rumah Pasemah
(Sumatera Selatan)

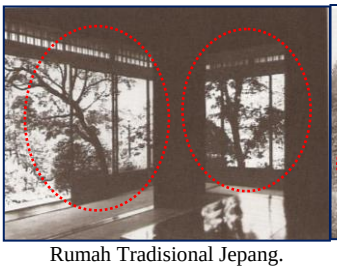
Rumah Lamin Mancong
(Kalimantan)

Bangunan-bangunan tersebut dibuat dengan bentuk rumah panggung, sehingga terdapat kolong bangunan yang tinggi berfungsi untuk mendapatkan aliran udara yang lebih banyak serta menghindari kelembapan di dekat tanah.

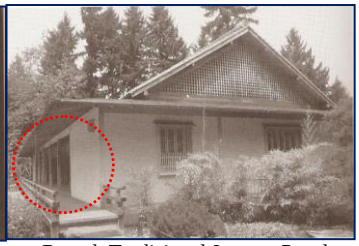
b) Bangunan-bangunan yang dilengkapi dengan jendela-jendela dan serambi-serambi yang besar, serta massa yang rendah.

Bangunan dibuat dengan langit-langit atau plafond yang tinggi sehingga dapat membiarkan udara yang masuk ke dalam bangunan melewati dan membagi ke tngkat-tingkatnya dengan lubang-lubang angin yang dibuat di bagian *gable* (bubungan) akan membiarkan udara yang paling panas untuk keluar.

Sebagian besar Negara Jepang mempunyai musim panas yang sangat panas dan sangat lembap. Untuk memaksimalkan sistem ventilasi alaminya di musim panas, rumah-rumah tradisional di Jepang menggunakan konstruksi tiang dan balok, yang membiarkan panel-panel *paper wall* yang berbobot ringan dapat dipindah-keluarkan dari jalur tempatnya berada. Selain itu atap teritisan yang besar akan melindungi panel-panel tersebut sekaligus menciptakan ruang luar yang disebut sebagai '*engawa*'.



Rumah Tradisional Jepang. Panel-panel dinding yang dapat dipindahkan.

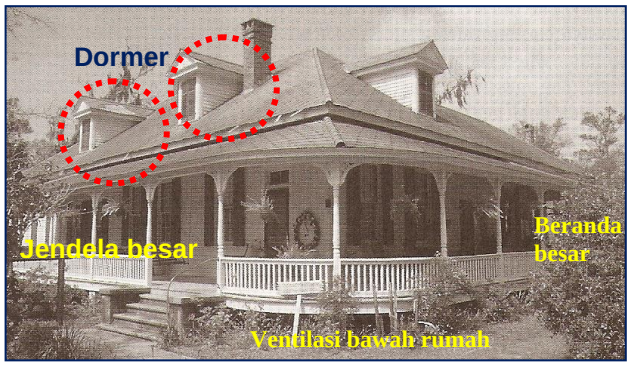


Rumah Tradisional Jepang. Panel dinding yang bisa dipindahkan akan membuka "*engawa*" (beranda) yang dilindungi oleh overhang yang lebar.

Rumah-rumah di kawasan French Lousiana telah beradaptasi dengan baik dengan iklim yang sangat lembap. Di daerah tersebut, rumah yang khas mempunyai ruang utama keluarga, dibangun denganrangka bangunan dari kayu ringan, suatu struktur susunan bata dimana rumah tersebut telah terangkat dari bangian dasar yang lembap dan panas. Dengan terangkatnya rumah tersebut, maka akanterdapat banyak aliran udara dan kelembapan pun berkurang.

Ruang utama keluarga mempunyai banyak lubang angin yang tinggi untuk memksimalkan ventilasi. Langit-langitnya sangat tinggi (kadang-kadang tingginya mencapai hingga 14 kaki) sehingga udara dapat masuk ke seluruh bagian ruang dan orang-orang bisa mendiami di bagian yan lebih rendah dan lebih dingin.

Rumah Pantai Teluk, French Lousiana



Beranda besar, dormer, jendela besar dan sistem ventilasi di bawah rumah.

.

Belvedere

5 KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan mengenai Pendinginan Pasif (*Passive Cooling*) di atas, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan pendinginan pasif tanpa disadari sudah diterapkan pada bangunan rumah tinggal yaitu dengan menggunakan bukaan pada dinding (ventilasi alami), walaupun pada kenyataannya penggunaan ventilasi silang yang nyaman masih kurang optimal. Hal ini disebabkan masih banyaknya rumah tinggal yang menggunakan alat pendingin udara (AC) yang sifatnya aktif.
2. Penggunaan pendinginan pasif pada rumah tinggal harus memperhatikan lokasi dan iklim setempat di mana bangunan tersebut akan dibangun. Hal ini dikarenakan jenis penggunaan pendinginan pasif yang berbeda-beda (misalkan menara angin digunakan pada bangunan di daerah beriklim panas kering).
3. Penggunaan jendela kecil, konstruksi bangunan yang massif, batu-batuan dan warna dinding yang cerah merupakan strategi bangunan pada iklim panas kering untuk mendapatkan pendinginan pasif di dalam maupun di luar ruangan dengan cara ang lebih berkelanjutan (*sustainable*), begitu juga dengan penggunaan serokan angin (*wind scoops*), menara angin (*wind tower*), tangkapan angin (*wind catcher*) dan penguapan pada *courtyard*.
4. Sedangkan pada bangunan yang berada di iklim panas lembap seperti halnya Indonesia, pengggunaan pendinginan pasif menitikberatkan pada penggunaan ventilasi alami yang nyaman dengan jenis bangunan yang berbeda (rumah-rumah tradisional yang berbentuk rumah panggung).
5. Penggunaan panel-panel dinding yang *movable* (dapat dipindah-pindahkan) juga merupakan penggunaan pendinginan pasif untuk daerah beriklim panas lebab yang mempunyai panas sangat panas dan sangat lembab.

SARAN

1. Maksimalkan penggunaan pendinginan pasif karena merupakan salah satu cara untuk mendapatkan kenyamanan dalam bangunan dengan cara yang lebih berkelanjutan (*sustainable*) dan dapat mengurangi penggunaan alat mekanikal (bangunan hemat energi).
2. Dapat menerapkan faktor efek cerobong asap, bentuk atap dengan konsep venture dan efek Bernoulli pada rumah tinggal terutama pada bangunan yang beriklim panas lembap, karena ketiga faktor ini dapat menciptakan kenyamanan dalam bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Lechner, N ; *Heating, Cooling, Lighting, Design Methods for Architect*, John Willey and Sons nc, 1991
2. Catatan Kuliah, *Iklim Dalam Arsitektur*,Penerbit ITB, Bandung
3. Lechner, Norbert, *Heating, Cooling and Lighting Design Methode for Architecture*, 2001
4. White, David, *Solar Efficient Design for Housing*
5. *Egan David.M, Concepts in Thermal Comfort*, New Jersey, 1975
6. http://en.wikipedia/wiki/passivecooling
7. http://en.wikipedia/wiki/naturalventilation
8. http://en.wikipedia/wiki/coolingtowersystem
9. http://en.wikipedia/wiki/windcathcer
10. http://en.wikipedia/wiki/evaporative_cooler
http://www.google.com/sni/perancangan_sistem_ventilasi_dan_pengkondisian_udara_pada_gedung