



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PARTIKEL - PARTIKEL KECIL DALAM
UDARA PADA KESEHATAN RUANG ARSITEKTUR**

SKRIPSI

**ADE FADLI
0806455963**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PARTIKEL - PARTIKEL KECIL DALAM
UDARA PADA KESEHATAN RUANG ARSITEKTUR**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Arsitektur**

**ADE FADLI
0806455963**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Ade Fadli

NPM : 0806455963

Tanda Tangan: 

Tanggal : 6 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ade Fadli
NPM : 0806455963
Program Studi : Arsitektur
Judul Skripsi : Pengaruh Partikel-Partikel Kecil dalam Udara pada Kesehatan Ruang Arsitektur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagaibagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Arsitektur pada Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Azrar Hadi Ph.D
NIP: 195008241985031001

(.....)

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Abimanyu Takdir
Alamsyah M.S
NIP: 194611091976031003

(.....)

Penguji 2 : Dr. Ing. Ir. Dalhar Susanto
NIP: 196201301991031003

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Arsitektur Jurusan Arsitektur pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini merupakan hasil penelitian sederhana yang dapat saya selesaikan atas bantuan dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih saya tujukan kepada:

1. Dr. Azrar Hadi, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Pimpinan pengelola gedung perpustakaan pusat Universitas Indonesia, Teguh Iman Santoso, yang telah bersedia menjadi narasumber mengenai pengudaraan perpustakaan pusat Universitas Indonesia;
3. Orang tua dan kakak, yang telah memberikan dukungan moral dan material;
4. Teman – teman di departemen Arsitektur yang selalu saling memberikan bantuan, dukungan dan semangat dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 6 Juli 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ade Fadli
NPM : 0806455963
Program Studi: Arsitektur
Departemen : Arsitektur
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

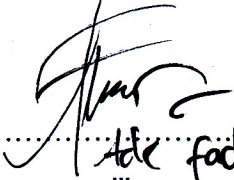
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Partikel-Partikel Kecil dalam Udara pada Kesehatan Ruang Arsitektur beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 6 Juli 2012

Yang menyatakan


(..... Ade fadli)
iii

ABSTRAK

Nama : Ade Fadli
Program Studi : Arsitektur
Judul : Pengaruh Partikel-Partikel Kecil dalam Udara pada Kesehatan Ruang Arsitektur

Selama mengikuti kuliah di arsitektur, saya sering mendengar bahwa masyarakat tradisional lebih baik dalam menyelesaikan masalah ruang hidupnya daripada masyarakat modern. Untuk mengetahui kebenarannya, saya menganalisa dan membandingkan hasil pengamatan langsung dan studi pustaka mengenai efisiensi penyelesaian masalah pengudaraan pada bangunan vernakular dan modern. Hasil penelitian sederhana ini menunjukkan arsitektur modern lebih baik dalam mengatur pengudaraan di dalam namun lebih buruk dalam mempertahankan kebersihan udara luar bangunan dari arsitektur vernakular. Arsitektur modern tengah membenahi masalahnya dengan alam dan manusia, sebagai pemegang keputusan, perlu melakukan hal yang sama demi menciptakan lingkungan yang sehat bagi makhluk hidup di dunia.

Kata kunci:

Kesehatan udara, arsitektur vernakular, arsitektur modern

ABSTRACT

Name : Ade Fadli
Study Program : Architecture
Title : Air Particles Influence in Architectural Space Health

During my study of architecture, I often heard traditional people solve their environment problem better than modern people. To prove that, I analyze and compare the results of my observation and research about vernacular and modern building effectiveness in airing. This research show that modern architecture can control indoor air health better but much worse in keeping the outdoor air health than vernacular architecture. Modern architecture still in process to correct its relationship with nature and human, as a decision maker, need to do the same thing to create a better world for all living being.

Key words:

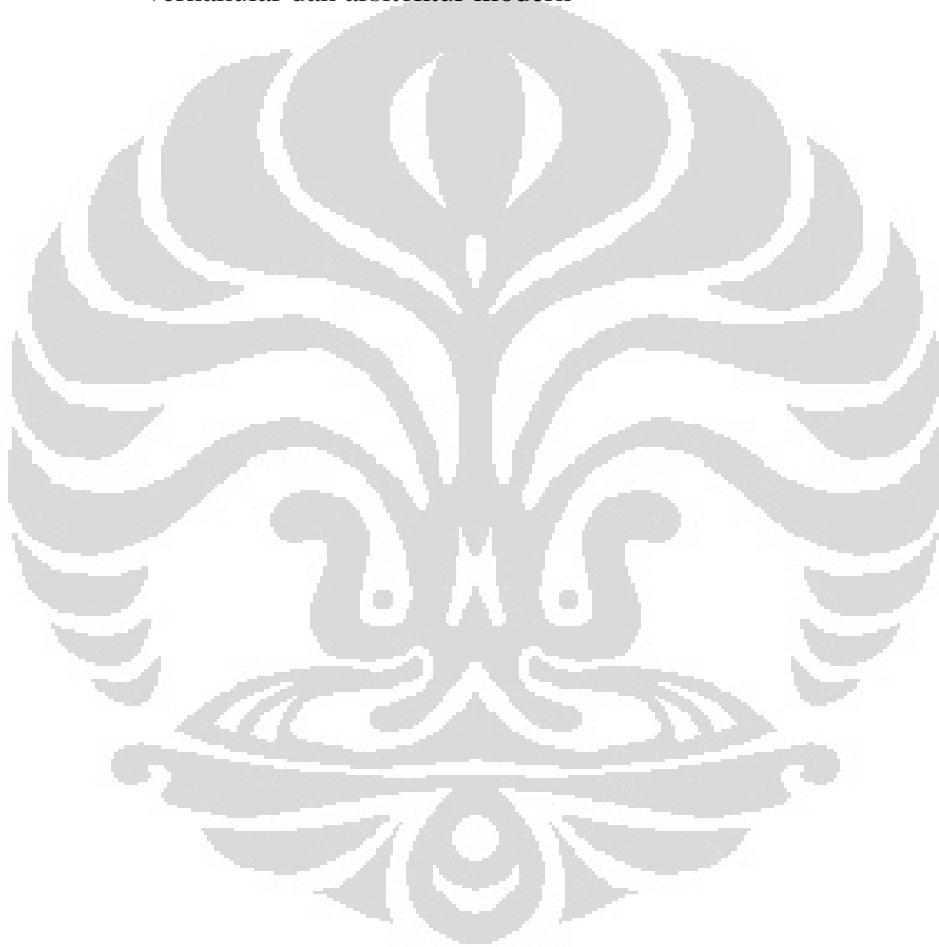
Air health, vernacular architecture, modern architecture

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Kegunaan Penelitian.....	3
1.5 Metode Pembahasan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Kerangka Berpikir	5
BAB II. KAJIAN TEORI	6
2.1 Kandungan Udara.....	6
2.2 Polusi Udara	7
2.3 Kesehatan Udara.....	10
2.4 Perkembangan Arsitektur Sistem Pengudaraan	18
BAB III. STUDI KASUS	22
3.1 Pengudaraan Arsitektur Vernakular Alor, Rumah Fala	22
3.2 Pengudaraan Arsitektur Vernakular Qatar	25
3.3 Pengudaraan Perpustakaan Pusat Universitas Indonesia.....	27
3.4 Pengudaraan Perpustakaan Universitas Coventry	32
3.5 Pembahasan	34
BAB IV. SIMPULAN	42
Simpulan.....	42
Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN 1 PERGERAKAN UDARA DI ALAM	47
LAMPIRAN 2 PERGERAKAN UDARA SEKITAR BANGUNAN	49
LAMPIRAN 3 PERGERAKAN UDARA DI DALAM BANGUNAN	51

DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 2.1. Tingkat konsentrasi CO ₂ berdasarkan lokasi	8
Tabel 2.2. Jenis-jenis polusi udara	9
Tabel 2.3. Kandungan ion di udara berdasarkan lokasi	17
Tabel 2.4. Bahan kimia yang dapat dibersihkan oleh ion negatif di udara	18
Tabel 2.5. Perbandingan penyebab penurunan kualitas udara arsitektur vernakular dan arsitektur modern	39
Tabel 2.6. Perbandingan penyebab kenaikan kualitas udara pada arsitektur vernakular dan arsitektur modern	40

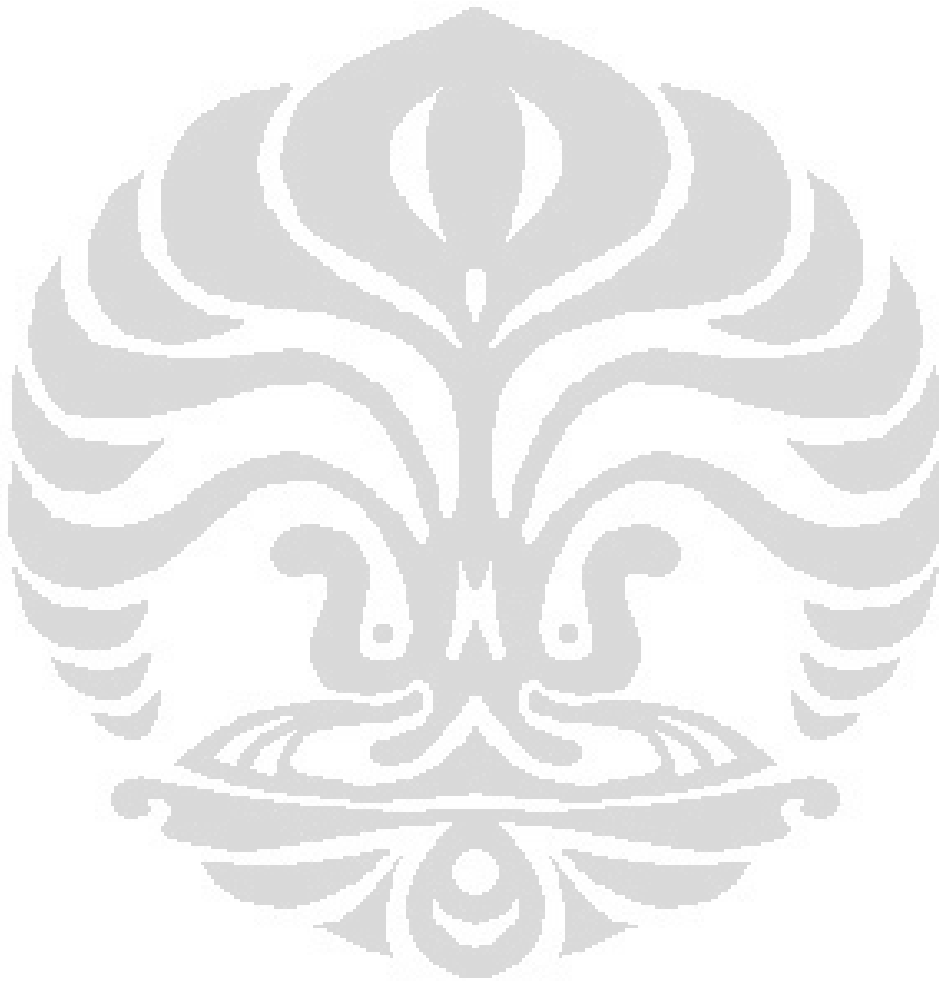


DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 1.1	Kerangka Berpikir..... 5
Gambar 2.1	Tingkat kualitas udara berdasarkan konsentrasi CO ₂ 12
Gambar 2.2.	Polutan di permukaan tanah..... 12
Gambar 2.3.	Penghalang tikus pada rumah Fala..... 19
Gambar 2.4.	Grafik peraturan ukuran ventilasi Amerika..... 20
Gambar 3.1.	Denah desa Takpala..... 23
Gambar 3.2.	Rumah Fala dalam tahap pembangunan..... 23
Gambar 3.3.	Perkiraan aliran udara pada rumah Fala..... 24
Gambar 3.4.	Aliran udara pada bangunan vernakular Qatar..... 26
Gambar 3.5.	Jenis bukaan pada bangunan vernakular Qatar..... 26
Gambar 3.6.	Lingkungan sekitar bangunan perpustakaan pusat UI..... 28
Gambar 3.7.	Tampak atas perpustakaan pusat Universitas Indonesia..... 28
Gambar 3.8.	Bagian perpustakaan yang menghadap ke danau..... 28
Gambar 3.9.	Perkiraan aliran udara yang terjadi pada perpustakaan UI... 29
Gambar 3.10.	Sistem pengudaraan pada perpustakaan pusat Universitas Indonesia..... 31
Gambar 3.11.	Perpustakaan universitas Coventry..... 32
Gambar 3.12.	Denah sumur cahaya..... 32
Gambar 3.13.	Sirkulasi udara keluar..... 33
Gambar 3.14.	Sirkulasi udara masuk..... 34
Gambar 3.15.	Bangunan yang memanfaatkan alam..... 35
Gambar 3.16.	Pembangunan yang merusak alam..... 35
Gambar 3.17.	Kandungan CO ₂ di udara dari abad ke-18 hingga abad ke-20..... 36
Gambar 3.18.	Batas kecepatan angin berdasarkan ketinggian..... 37

DAFTAR LAMPIRAN

	Hal.
Lampiran 1. Pergerakan Udara di Alam.....	47
Lampiran 2. Pergerakan Udara sekitar Bangunan.....	49
Lampiran 3. Pergerakan Udara di dalam Bangunan.....	51



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Buku *Built to Meet Needs Cultural Issues in Vernacular Architecture* dan kuliah yang pernah saya ikuti, mengatakan bahwa masyarakat tradisional lebih baik dalam menyelesaikan masalah ruang hidupnya daripada masyarakat modern, termasuk dalam hal pengudaraan. Paul Oliver (2006) menuliskan:

“Vernacular architecture can offer shelter from the realities of the present, and encouragement to those who believe that life in past centuries was better than life today; or that traditional buildings, no matter how insanitary, damp, smoke-filled or insect-infested they may have been, were superior to housing here and now. Less conspicuous, but perhaps as sentimental in its emotional source, is the ‘low culture’ attitude which idealizes popular and folk culture at the expense of ‘high culture’ ” (hal. 8)

Teknologi yang sederhana, dapat digunakan oleh masyarakat tradisional untuk mengoptimalkan potensi suatu material agar digunakan dalam menyelesaikan masalah dengan efisien serta tidak menimbulkan kerusakan pada lingkungan sekitarnya (Oliver, 2006). Keadaan ini berbanding terbalik dengan arsitektur kontemporer yang seringkali menutup diri dan mengabaikan lingkungan sekitar termasuk dalam pengudaraan. Namun, kini dalam dunia arsitektur, dikenal istilah *green architecture* yang mencoba mendekatkan kembali manusia dengan alam dan menghasilkan perancangan yang layak bagi manusia.

Pengertian *green architecture* sendiri adalah pendekatan terhadap bangunan yang meminimalisir efek yang merusak terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Jackie Craven, <http://architecture.about.com>). Sudjic (1995) membuat pernyataan mengenai trend *green architecture*:

“Despite the dogmatism of many of the specialists about what is and what is not an ecologically sensible approach to architecture there can be no certainty. Like all new religions, there is endless scope for doctrinal dissent. There are many different approaches, from those who believe in low-tech mud walls, to the enthusiasts for hitech mechanisms” (Guy dan Moore, 2005, hal. 6)

Perbedaan pendekatan yang terjadi dalam perancangan arsitektur ramah lingkungan tentu bukan hal yang buruk karena dalam mengkaji suatu hal

dibutuhkan beberapa sudut pandang yang berbeda agar kajian yang dilakukan tetap objektif. Namun, perbedaan pendekatan ini memicu beberapa kalangan terjebak diantaranya atau hanya membenarkan salah satunya saja yang menimbulkan kekeliruan dalam perancangan arsitektur, salah satunya adalah masalah kesehatan pengudaraan.

Udara mengandung partikel-partikel yang dapat mempengaruhi kesehatan manusia. Partikel-partikel ini dapat masuk ke dalam bangunan melalui bukaan seperti pintu, jendela dan ventilasi. Bangunan modern, terutama pada bangunan-bangunan tinggi, tidak terlalu memperhitungkan ventilasi dalam proses perancangan karena keberadaannya sebagai pengatur udara pada ruangan telah tergantikan oleh sistem pengudaraan buatan. Keadaan ini didukung buruknya kualitas udara dan berkembangnya teknologi pengudaraan buatan sehingga penggunaan ventilasi, terutama di daerah perkotaan, kurang diminati. Kesalahan perancangan pengudaraan saat mengganti ventilasi dengan pengudaraan buatan dapat meningkatkan jumlah partikel yang berbahaya bagi penghuni bangunan. Keadaan tersebut dapat menimbulkan resiko kesehatan seperti *legionnaires disease*, *humidifier fever*, *sick building syndrome* dan lainnya (Hall dan Greeno, 2007)

Pertanyaan mengenai apakah manusia dengan teknologi yang modern, belum dapat melampaui kemampuan nenek moyangnya dalam menyelesaikan masalah ruang hidupnya? Atau, orang-orang yang menganggap arsitektur vernakular lebih baik daripada arsitektur kontemporer lebih dikarenakan kedekatan arsitektur vernakular dengan alam daripada kemampuan teknologi bangunannya dalam menyelesaikan masalah? Telah menimbulkan banyak kebingungan dalam praktek arsitektur ramah lingkungan sehingga perlu diperjelas apakah aplikasi teknologi modern atau teknologi vernakular yang lebih mendukung arsitektur ramah lingkungan.

1.1 Rumusan Masalah

Arsitektur vernakular pada masanya bergelut dengan debu, serbuk tanaman, spora, asap dan lainnya. Arsitektur modern pun mendapat tantangan tersebut juga, gas rumah kaca, zat kimia dan polusi udara lainnya. Menghadapi masalah yang berbeda, masing-masing pun menggunakan penyelesaian berbeda

dengan kekurangan dan kelebihan masing-masing. Namun, sebagian orang berpendapat arsitektur vernakular jauh lebih baik dalam menyelesaikan masalahnya daripada arsitektur kontemporer. Bahkan, arsitektur kontemporer dianggap menambah masalah daripada memberikan penyelesaian masalah. Sebenarnya arsitektur vernakular pun bukannya tanpa cacat, seperti yang dikatakan oleh Paul Oliver, bangunan arsitektur vernakular memiliki masalah kelembaban udara dan asap di dalam bangunan. Perbedaan pendapat ini membutuhkan sebuah penjelasan yang dapat menghapus kekeliruan perancangan yang terjadi. Agar pembahasan lebih fokus, penulisan akan berpusat pada kesehatan pengudaraan dan efeknya terhadap penghuni bangunan tanpa mempertimbangkan hal lain yang mempengaruhi rancangan sistem pengudaraan pada bangunan misalnya pengaruh budaya setempat. Pertanyaan yang timbul dari masalah kesehatan pengudaraan ini adalah:

- a. Apakah benar manusia, dengan teknologi yang modern, belum dapat melampaui kemampuan nenek moyangnya dalam menyelesaikan masalah kesehatan pengudaraan di dalam bangunan?
- b. Sistem pengudaraan arsitektur mana yang lebih efektif?

1.2 Tujuan Penelitian

Menganalisa dan membandingkan efisiensi penyelesaian masalah pengudaraan di dalam bangunan melalui teknologi bangunan pada bangunan vernakular dan kontemporer dengan memperhatikan pengaruh partikel-partikel kecil dalam udara pada kesehatan ruang arsitektur.

1.3 Kegunaan Penelitian

Kegunaan teoritis dari penelitian ini adalah memperkaya kajian mengenai sistem pengudaraan pada arsitektur vernakular dan kontemporer. Melalui penelitian ini, baik itu mahasiswa, dosen, arsitek, maupun pihak-pihak lain dapat mengetahui perancangan sistem pengudaraan pada bangunan vernakular dan kontemporer yang sehat juga ramah lingkungan serta aplikasinya pada perancangan bangunan.

Kegunaan praktis penelitian ini diharapkan dapat memperluas pengetahuan pembaca tentang efisiensi penyelesaian masalah pengudaraan melalui teknologi bangunan vernakular dan kontemporer.

1.4 Metode Pembahasan

a. Teknik Pengumpulan Data

- a) Studi literatur yang menjelaskan perancangan pengudaraan ramah lingkungan
- b) Studi literatur yang menjelaskan tentang kebutuhan kesehatan ruang bagi manusia
- c) Pengamatan terhadap contoh-contoh kasus yang diangkat

b. Metode Pendekatan

Pendekatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah pendekatan analisis dan perbandingan.

c. Metode Analisis

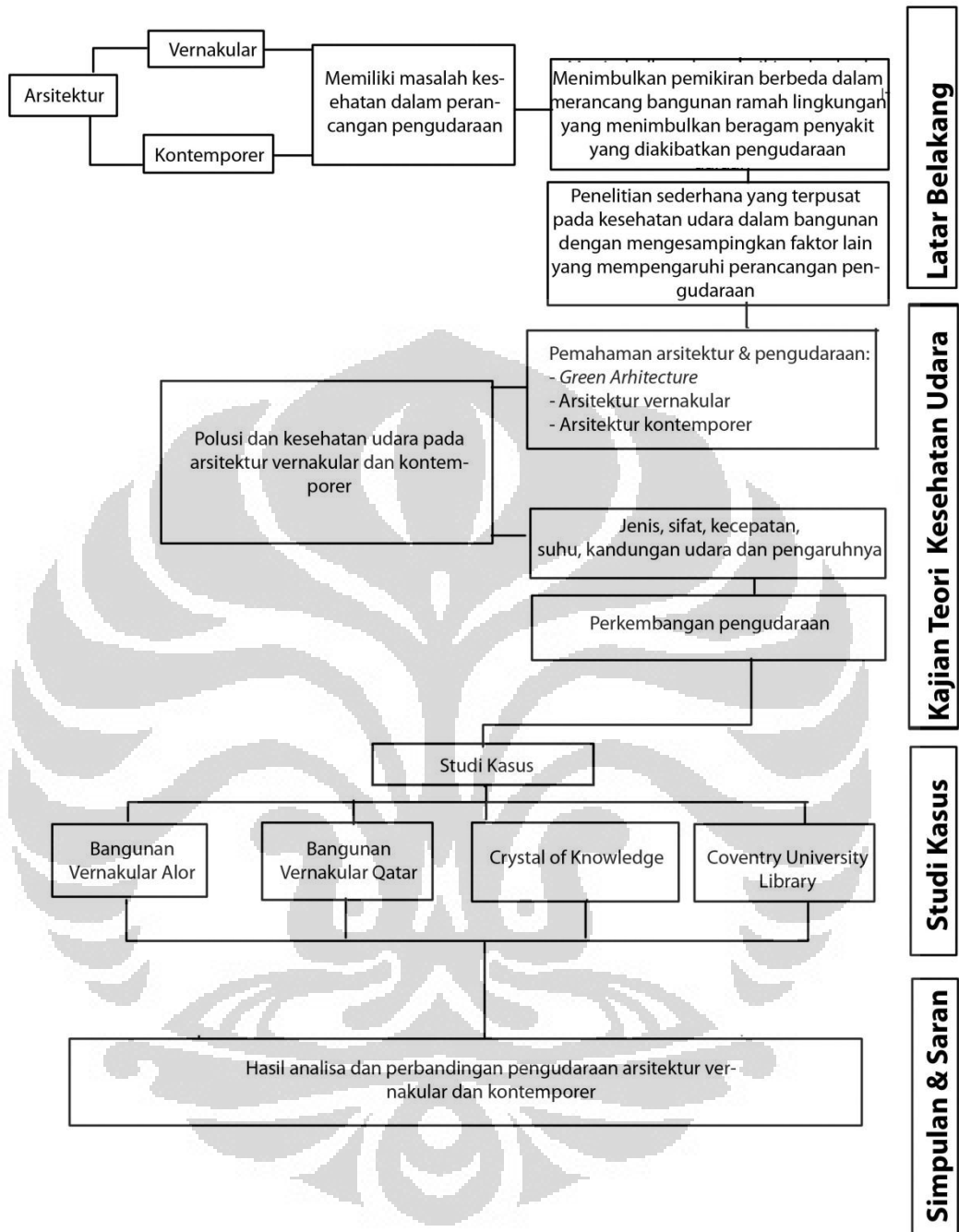
Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kualitatif, yaitu meneliti teori yang ada serta fakta mengenai kesehatan ruang dalam praktek perancangan pengudaraan bangunan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika dari penulisan skripsi hasil penelitian saya diantaranya terdiri dari beberapa bab sebagai berikut:

- Bab I. Pendahuluan, mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, kegunaan penelitian dan metode pembahasan
- Bab II. Kajian teori, berisikan tinjauan umum sistem pengudaraan arsitektur vernakular dan kontemporer
- Bab III. Studi Kasus, membandingkan hasil survey dan studi literatur sistem pengudaraan arsitektur vernakular dan kontemporer
- Bab IV. Simpulan dan saran

1.6 Kerangka Berpikir



Gambar 1.1 Kerangka Berpikir

BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Kandungan Udara

Udara merupakan campuran beragam zat seperti air, CO₂ dan energi listrik yang akan memberi efek pada kesehatan, kewaspadaan dan energi manusia saat terjadi perubahan karakteristik. Lebih buruk lagi saat udara mengalami polusi (Day, 2002). Kandungan udara terdiri dari oksigen (O₂) 23.1 %, nitrogen (N₂), 75.6 %, karbon dioksida (CO₂) 0.046 %, hidrogen (H₂) 0.000 0035 %, dan sebagian kecil argon (Ar), neon (Ne), helium (He), kripton (Kr) and xenon (Xe) (Berge, 2001). Seberapa bersihkah udara segar? Udara seperti apakah yang sehat?

Pada kenyataannya udara segar pun tidak lepas dari polusi yang terjadi secara alamiah seperti kontaminasi partikel debu, dan bakteri. Meskipun terjadi secara alami, hal ini dapat mengganggu kesehatan manusia. Namun, alam telah menyediakan pemecahan masalahnya dimana udara dapat dibersihkan oleh tanaman, air dan matahari sedangkan panas, material dan uap air mengatur kualitas udara. Tetapi, sebuah pohon memerlukan waktu seharian untuk mengolah CO₂ yang dikeluarkan oleh sebuah mobil dalam perjalanan selama 10 menit (Day, 2002). Ketimpangan ini menghasilkan polutan dalam jumlah besar dan ditambah lagi polutan alami yang mengurangi udara bersih untuk dihirup oleh manusia, termasuk saat di dalam bangunan.

Bagaimana udara pada bangunan terkontaminasi? Di luar bangunan, udara terpolusi oleh industri dan kendaraan bermotor; di dalam ruangan, oleh pengeluaran zat oleh perabotan, dan perawatan bangunan, belum lagi hasil pernafasan dan aroma tubuh. (Day, 2002). Tiga alasan umum rendahnya kualitas udara dalam bangunan adalah sumber polusi udara di dalam bangunan; perancangan, pemeliharaan dan pengoperasian sistem ventilasi yang buruk; penggunaan bangunan yang tak sesuai dengan perancangan. Udara dalam bangunan juga berkemungkinan terkontaminasi oleh udara dari luar akibat perancangan lokasi udara masuk dan keluar kurang baik (Binggeli, 2003). Rancangan sistem pengudaraan yang buruk dapat menyebabkan partikel-partikel di udara yang mengganggu kesehatan meningkat jumlahnya.

Partikel-partikel kecil di alam merupakan salah satu penyebab perubahan karakteristik udara. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia digital (v1.1) partikel adalah: “unsur butir (dasar) benda atau bagian benda yg sangat kecil dan berdimensi; materi yg sangat kecil, spt butir pasir, elektron, atom, atau molekul; zarah.” Secara fisika dapat juga berarti: “*a body with finite mass that can be treated as having negligible size, and internal structure*” (<http://dictionary.reference.com/browse/particle>). Partikel-partikel ini tercipta secara alami (serbuk sari, ion) maupun buatan (zat kimia) dan tersebar di alam bebas (lebih lengkapnya lihat tabel 2.2).

Menentukan partikel apa saja yang dapat masuk dan perlu dihalau ke dalam bangunan harus dilakukan sejak awal karena dalam perancangan bangunan, keberadaan partikel-partikel kecil ini dapat mempengaruhi peletakan ventilasi, material dan sistem pengudaraan yang akan digunakan. Merancang kandungan udara pada bangunan adalah bagian dari arsitektur karena keberadaannya dapat mempengaruhi kesehatan udara dan kondisi penghuni bangunan.

2.1 Polusi Udara

Tidak seperti beberapa tahun belakangan ini, manusia selalu berhubungan dengan udara bebas meskipun terdapat asap, kepadatan, sanitasi yang buruk, jamur dan spora di alam bebas (Day, 2002). Udara daerah perkotaan mulai terkontaminasi oleh materi yang dapat mengurangi kualitas udara dan berasal dari beragam mesin buatan manusia (Tabel 2.2 menunjukkan jenis-jenis polusi yang terdapat di udara berdasarkan buku *Ecology of Building Materials* dan *Building Systems for Interior Designers*). Pergerakan udara kotor tersebut dihalau masuk pada bangunan-bangunan di perkotaan dengan tujuan mempertahankan kebutuhan fungsi ruang pada bangunan yang akan berkurang efektifitasnya jika terjadi pertukaran udara dengan lingkungan sekitarnya. Menghalau udara masuk ke dalam bangunan mungkin bukan hal yang sulit namun memperbaiki keadaan yang ditimbulkan akibat tidak masuknya udara ke dalam bangunan merupakan salah satu tantangan terbesar dalam perancangan bangunan (Allen, 2005). Menutup bangunan dan menggunakan pengudaraan buatan telah menjadi ukuran dasar dalam pembangunan beberapa bangunan karena alasan kenyamanan

meskipun dapat memberikan efek negatif bagi penghuni dan lingkungan. *Legionnaires disease, humidifier fever, sick building syndrome* dan penyakit lainnya dapat timbul akibat pengudaraan yang buruk (Hall dan Greeno, 2007).

Tabel 2.1. Tingkat konsentrasi CO₂ berdasarkan lokasi

Location Description	Concentration Levels					
	CO ₂ ppm	CO mg/m ³	NO ₂ µg/m ³	SO ₂ µg/m ³	Overall-PM mg/m ³	PM ₁₀ µg/m ³
Rural Areas, no significant Sources of Emission	350	< 1	5 to 35	< 5	< 0.1	< 20
Small towns	375	1 to 3	15 to 40	5 to 15	0.1 to 0.3	10 to 30
Polluted Downtown Areas	400	2 to 6	30 to 80	10 to 50	0.2 to 1.0	20 to 50

Sumber: Green Building – Guide Book for Sustainable Architecture

Sistem pengudaraan buatan dapat menimbulkan polusi udara di dalam bangunan baik dalam penggunaan (karat dan debu pada kipas) maupun pemeliharaan peralatan (penggantian filter) (Binggeli, 2003). Day (2002) menyatakan:

“Sick building issues are mostly about sick air; air polluted by micro-organisms, particulate and chemicals – often all three, and all bound up with heating. Heat accelerates mould growth, chemical off-gassing and also air movement. The more air is heated, the greater its convective movement, so the more dust it carries and we breath. There’s no shortage of dust. The average urban house accumulates 40 pounds a year. Some particles are so minute they can be carbonized (becoming more aggressive to the lungs) at temperatures as low as 40°C – well below most heater and radiator surface temperatures. Even worse with fan-forced air. Its negative ions are destroyed – sometimes all of them – by duct friction and magnetism and electromagnetic fields from fan motors. Additionally fans are noisy and dust-circulating, and ducts prone to microbial culture breeding. Air so ‘handled’ loses life-supporting characteristics and gains life-inhibiting ones. Consideration of air quality therefore unavoidably involves heating” (hal.50).

Suasana yang tidak cocok pada banyak bangunan menyebabkan kondisi tidak menyenangkan dan tidak sehat untuk pengguna bangunan, keadaan ini disebut *sick building syndrome*. Fenomena bangunan yang menimbulkan penyakit pada penghuninya sudah terjadi sejak lama. Penyakit yang ditimbulkan adalah bronchitis dan TBC (Day, 2002). Bangunan seperti apakah yang tergolong bangunan sakit? Godish (1995) menyatakan:

“We have become increasingly aware that human health and comfort complaints expressed by occupants of office, institutional, and other public access buildings are

Universitas Indonesia

in many cases associated with poor indoor quality. When a building is subject to complaints sufficient to convince management to conduct an IAQ investigation, it may be characterized as a 'problem' or 'sick' building. Health complaints associated with a problem building may have a specific identifiable cause (building-related illness) or, as is true for many problem buildings, no specific causal factor or factors can be identified (sick building syndrome)" (Sebestyen, 2003, hal.96)

Tabel 2.2. Jenis-jenis polusi udara

No.	Jenis Polusi
1.	Racun lingkungan, zat beracun yang tak dapat terurai atau terakumulasi secara alami dengan komposisi metal serta racun organik. Zat ini terbawa oleh angin dan dapat mengendap pada air tanah.
2.	Debu, dihasilkan oleh proses pengolahan material dan industri yang memungkinkan untuk membawa racun lingkungan.
3.	Zat perusak ozon, mayoritas adalah chlorinated fluorocarbons (CFC) yang mampu melubangi lapisan ozon dan juga menimbulkan alergi, iritasi saluran pernapasan hingga mutagen.
4.	Gas rumah kaca, gas yang menahan pelepasan panas bumi, CO ₂ merupakan zat yang paling umum. Karbon dioksida (CO ₂) diproduksi saat energi dilepas dari karbon baik secara pembakaran maupun metabolisme.
5.	Zat asam, zat yang menyebabkan peningkatan asam pada lingkungan dengan kandungan utama sulphur dioxide and nitric oxides.
6.	Photochemical oxidizing agents, digambarkan sebagai campuran asap yang terdiri dari nitrogen oksida, debu dan senyawa yang mudah menguap seperti terpentin
7.	Partikel yang menyebabkan iritasi, ditimbulkan oleh pembakaran. Gejalanya dapat berupa gatal, mata kering, bersin, batuk, tenggorokan dan hidung kering, sakit tenggorokan dan sesak.
8.	Karbon monoksida, gas tak berbau yang dihasilkan oleh pembakaran yang tidak sempurna misalnya pada asap buangan kendaraan bermotor. Pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan pusing, mengantuk, pingsan hingga kematian. Polusi organik, adalah pencemaran udara akibat siklus alam. Bakteri, jamur, virus, alga, serangga, bangkai, debu dan sel kulit manusia adalah polutan yang umum.
9.	Ozon, gas yang terdiri dari tiga atom oksigen yang mudah terbakar dan beracun. Pembentukan ozon dalam bangunan terjadi akibat mesin potokopi atau peralatan elektronik bervoltase tinggi. Efek negatifnya adalah sesak nafas, pusing, asma dan infeksi paru-paru.
10.	Radioaktif, berbentuk partikel dan gas, misalnya paling sering ditemukan pada bangunan adalah Radon yang dapat dibuang melalui penyaring udara dan alat lainnya. Konsentrasi radio aktif pada bangunan dapat menyebabkan luka hingga kanker paru-paru (Radon adalah penyebab kedua tertinggi kanker paru-paru setelah asap rokok).
11.	Volatile organic compounds (VOCs), adalah campuran kimia yang mudah menguap dan mengandung atom karbon. Formaldehid adalah yang paling umum dan termasuk penyebab sick building syndrom. Hampir semua produk pabrikan hingga alami menghasilkan VOCs. Kayu, plastik, fiber, cairan pembersih, cat hingga bahan bakar semuanya mengeluarkan VOCs dan mayoritas beracun yang dapat mengganggu kesehatan sistem kesadaran, mata dan pernapasan.

Menurut Sebestyen (2003) 'bangunan sakit' bisa diakibatkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah:

- Masalah manusia: kesehatan, stress, ketidakpuasan kerja, kepadatan penghuni, lingkungan kerja dan asap rokok;
- Kondisi lingkungan: suhu, kelembaban, listrik statis, medan magnet dan listrik, radium;
- Gas, uap dan kontaminan: *formaldehyde, volatile organic compounds*, debu, *asbestos fibre*.

Apakah ini artinya teknologi modern belum dapat menyelesaikan masalah pengudaraan dalam bangunan?

2.2 Kesehatan Udara

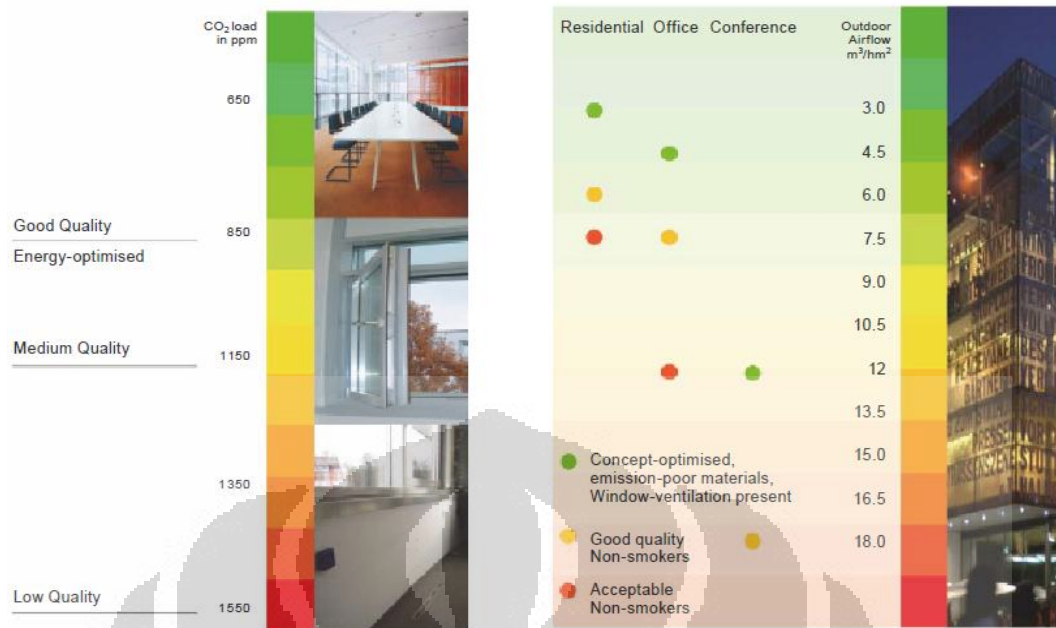
Udara mempengaruhi perasaan manusia lebih cepat dari makanan, air dan suhu, baik secara emosi maupun kesehatan. Menurut Day (2002): *“Its purity and freshness, or pollution and ‘age’ affect us at physical, energy and feeling levels – hence the effectiveness of aromatherapy”* (hal.42). Seperti apakah udara yang sehat? Sehat menurut WHO (*World Health Organization*) adalah keadaan sempurna secara fisik, mental dan sosial. Sedangkan hal yang mengurangi kesempurnaan tersebut atau yang membuat sakit adalah sifat (genetis), stress (kelelahan) dan perantara (pathogen) (Day, 2002). Dari pengertian tersebut saya menyimpulkan, udara yang sehat adalah udara yang dapat memberikan kesempurnaan secara fisik maupun mental. Kualitas udara di luar, jenis dan ukuran ventilasi, kepadatan penghuni dan emisi material dalam ruangan adalah faktor utama penentu kualitas udara dalam ruangan atau IAQ (*Indoor Air Quality*). (Bauer, Mosley dan Schwarz, 2010).

Udara segar dengan volume 2 L/s dibutuhkan manusia untuk bernapas dan 16-32 L/s untuk menghilangkan berbagai aroma tak sedap (Roaf, Fuentes dan Thomas, 2007). Kurangnya volume udara segar mengakibatkan konsentrasi CO₂ di udara akan meningkat dan dapat dianggap polusi udara pada ruangan meningkat karena saat tidak ada debu polutan yang mencolok, tingkat polusi udara dapat dengan mudah ditentukan dengan melihat konsentrasi CO₂ (Bauer, Mosley dan Schwarz, 2010). Berdasarkan kalimat tersebut, dapat dikatakan saat terjadi kekurangan udara segar maka udara pada ruangan tidak sehat. Gas CO₂ tidak dianggap gas berbahaya namun, jika mencapai konsentrasi 0,5% atau 5000

ppm, keadaan ini dianggap sama dengan kurangnya O_2 di udara. Untuk menghindari efek negatif pada manusia, konsentrasi 1000 ppm ditetapkan untuk aplikasi pada bangunan (Gallo, 1998).

Udara bersih bergantung pada tanaman. Vegetasi meningkatkan kualitas udara dengan enam cara: menambah oksigen, mengatur kelembaban juga suhu udara, menahan debu, menyerap polusi dan meningkatkan ion pada udara selain itu juga mengatur cahaya, memberi aroma dan tempat hidup bagi makhluk hidup. (Day, 2002). Tanaman dapat membersihkan udara dari polutan seperti VOCs (*Volatile Organic Compounds*) dengan menyerapnya melalui daun dan menghancurkannya dengan proses biologis tanaman dan mikroba. Bahkan beberapa tanaman dapat mengurangi hingga 87% polutan dalam ruangan (day, 2002). Jumlah debu di udara berkurang saat melewati tanaman. Udara pada jalan tanpa pohon mengandung partikel debu 10.000 – 12.000 per liter sedangkan dengan pohon kurang dari 3.000 partikel debu per liter. Polutan alami seperti mikroba, spora dan jamur pun dapat dikendalikan oleh tanaman dengan mengeluarkan *Volatile photochemicals* dari daun. Mikroorganisme yang hidup di tanah sekitar tanaman juga ikut membersihkan udara karena sebagian polutan di udara merupakan makanannya (Kobayashi, Kaufman, Griffis dan McConnel, 2007). Untuk menghindari alergi pada penghuni bangunan akibat udara yang mengandung serbuk sari, tanaman sekitar bangunan sebaiknya dipilih yang melakukan penyerbukan dengan bantuan serangga sehingga tidak ada serbuk sari yang terbawa oleh angin (Roaf, Fuentes dan Thomas, 2007).

Dengan adanya tanaman diharapkan kualitas udara dan konsentrasi CO_2 di sekitar bangunan dapat terjaga dengan baik. Tingkat kualitas udara berdasarkan konsentrasi CO_2 dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. (kiri) Tingkat kualitas udara berdasarkan konsentrasi CO₂, (kanan) tingkat sirkulasi udara yang dibutuhkan berdasarkan kesehatan permukaan ruangan (Sumber: Green Building – Guide Book for Sustainable Architecture).



Gambar 2.2. Polutan di permukaan tanah. Karena banyak polutan memiliki massa yang berat maka, konsentrasi polutan pada permukaan tanah lebih padat. Penggunaan tanaman rambat dapat menyaring polutan menyerap ke dalam bangunan (sumber: Spirit & Place).

Kualitas udara dapat dipengaruhi oleh polutan-polutan yang berada di permukaan tanah seperti yang terdapat pada Gambar 2.2. Menurut Binggeli (2003): “Design practices that support good IAQ start with carefully locating the building on the site, and include limiting pollution at the source by selecting materials and equipment with care” (hal.122). Penggunaan ventilasi pada bangunan tetap dapat dilakukan meskipun pada daerah dengan tingkat polusi tinggi dengan cara

menempatkan bukaan pada lokasi dengan tingkat polusi yang rendah. Partikel buangan dengan massa cukup berat seperti karbon monoksida tidak bergerak terlalu jauh sehingga jalan dan ruang bawah tanah menerima kadar yang tinggi. Debu dan asap timbul dekat jalan sehingga lebih baik menempatkan ventilasi dibagian belakangnya. Untuk sebagian tempat, udara luar terlalu terpolusi untuk kesehatan. Dalam keadaan seperti ini, udara di lantai atas lebih bersih daripada yang dekat dengan jalan. (Day, 2002)

Sebuah ruangan steril menggunakan filter udara yang lebih efisien daripada yang digunakan di perkantoran. Filter ruangan steril lebih efisien 99.97% dalam mengurangi partikel atau lebih baik 0,3 pm dari suplai udara ruangan umum. Pada sistem pengudaraan perkantoran, filter diletakkan dekat dengan mesin pengatur udara dan udara yang telah disaring didistribusikan oleh pipa ke ruangan. Hal ini memungkinkan partikel terbawa dari pipa dan masuk ke dalam ruangan. Penyaring pada ruangan steril diletakkan pada terminal udara sebelum udara masuk ruangan (Whyte, 2003). Jenis-jenis penyaring udara menurut Binggeli (2003) terdiri dari enam hal, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Penyaring elektronik, menghasilkan listrik statis dan ion negatif yang menangkap partikel dan menambah beratnya hingga jatuh atau menempel pada permukaan bangunan, efektif menyaring partikel berukuran $0.01\mu\text{m}$. Kekurangannya adalah dapat menghasilkan ozon dan ruangan harus sering dibersihkan karena banyak kotoran yang menempel di permukaan ruangan.
- b. Penyaring mekanik, menangkap partikel dengan menarik partikel besar yang diikuti partikel kecil keluar dari saluran udara dengan bukaan yang mengecil dimana akan ditahan oleh listrik statis. dapat digunakan pada sistem sentral maupun perbagian.
- c. Chemisorption, menggunakan material aktif yang menarik dan mengikat molekul gas ke permukaannya.
- d. Physical adsorption, melekatkan gas pada karbon aktif untuk menyaring udara seperti magnet yang menarik besi. Polutan tidak terikat dengan karbon aktif sehingga dapat digunakan berulang kali. Karbon aktif menyerap VOCs, sulfur dioksida dan ozon namun tidak efektif untuk formaldehid dan amonia.

- e. Ozon, meskipun berbahaya pada konsentrasi tertentu tetapi juga dapat mengurangi polutan dalam ruangan. Ozon mengincar gas kimiawi, bakteri, jamur, lumut dan menghancurkannya pada tingkat molekul. Namun, penggunaannya sebagai penyaring udara masih belum disetujui sepenuhnya oleh para ahli karena dapat mengakibatkan masalah kesehatan pada manusia.
- f. Cahaya ultraviolet (UV), membersihkan udara dengan membunuh kuman, virus, bakteri dan jamur pada tingkat DNA.

Bangunan yang dirancang dengan baik dapat terhindar dari *sick building syndrome* bahkan memberikan efek positif bagi penghuninya. Penggunaan material alami meningkatkan volume udara segar dan ion negatif dalam bangunan dan dapat menyelesaikan banyak masalah bangunan sakit serta dapat menyehatkan jiwa dan raga. Material bangunan yang berasal dari alam mewarisi sifat-sifatnya saat masih hidup sehingga memiliki kemampuan meningkatkan kesehatan lingkungan sekitarnya seperti mengatur suhu, kelembaban dan mengurangi polusi udara (Day, 2002). Kayu memiliki prospek untuk menjadi material utama bangunan. Penelitian dan perancangan yang dilakukan di Inggris telah menghasilkan bangunan material kayu setinggi enam lantai dan ada juga bangunan yang memiliki panjang 90 m dan lebar 25 m (Smith, 2005). Meskipun, dalam mengaplikasikannya menimbulkan banyak perdebatan. Mengenai aplikasi material alami dan hubungannya dengan *green architecture*, Sudjic (1995) membuat pernyataan:

“A timber structure, for example, doesn’t need the energy that goes into smelting aluminium. On the other hand, aluminium structure can easily be recycled, while timber cannot. How do you account for the energy costs of transporting building components to the site? And how about the energy that will be consumed by all the occupants in getting to a building?” (Guy dan Moore, 2005, hal.6).

Semakin berkurangnya luas hutan membuat harga kayu menjadi mahal dan material buatan menjadi pilihan utama. Material buatan kini sudah semakin ramah lingkungan misalnya saja beton, sebagai material buatan manusia yang paling sering digunakan, telah memiliki variasi yang dinamakan ‘eco-cement’. Dikatakan jika menggunakan material ini memiliki hasil yang sama dengan menanam pohon karena kemampuannya menyerap 0,4 ton CO₂ saat mengeras untuk setiap ton beton. Jika dibandingkan dengan semen pada umumnya, jumlah CO₂ yang diserap eco-cement dalam sebulan setara dengan jumlah CO₂ yang

diserap oleh semen dalam waktu seribu tahun (Smith, 2005). Namun, tidak semua material buatan baik untuk kesehatan, asbestos misalnya, merupakan material bangunan yang dapat menyebabkan kanker dan tumor (Roaf, Fuentes dan Thomas, 2007)

Saat menggunakan material buatan dan mengandung VOCs, sebaiknya dilakukan tes menyeluruh pada bangunan untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap pengudaraan bangunan. Penelitian yang dilakukan oleh Samet, Dominici, Curriero, Coursac, Zeger dan Scott membuktikan bahwa partikel dengan ukuran $10\ \mu\text{m}$ di udara (PM_{10}), mempengaruhi tingkat kematian dengan berbagai penyebab terutama penyakit jantung dan pernapasan. Hasil ini memperkuat pemikiran untuk melakukan pengaturan terhadap partikel di udara (Samet, Dominici, Curriero, Coursac, Zeger, Scott, 2000) Konsentrasi VOCs pada ruangan memiliki standar 10 hingga $25\ \text{mg}/\text{m}^3$ jika penggunaan ruangan dalam waktu singkat, 1 dan $3\ \text{mg}/\text{m}^3$ dalam jangka waktu panjang serta $0.3\ \text{mg}/\text{m}^3$ sebagai standar ruangan dengan kualitas udara ruangan yang baik (Bauer, 2010). Tindakan tes menyeluruh dapat mengurangi polusi yang dihasilkan di dalam bangunan dan menghindari proses 90 hari penghawaan bangunan setelah selesai masa konstruksi (Binggeli, 2003).

Udara mengalami ionisasi negatif ketika molekul membuang elektronnya, molekul tersebut mencoba menstabilkan dirinya dengan cara mengikat partikel mikro – termasuk bakteri. Setelah mengikat partikel, udara menjadi lebih berat dan jatuh ke lantai yang menghasilkan udara bersih untuk dihirup (Day, 2002). Partikel yang diikat oleh elektron disebut juga ion negatif. Terdapat ion positif dan negatif di alam, menurut dictionary.reference.com, pengertian ion negatif dan ion positif adalah:

“an electrically charged atom or group of atoms formed by the loss or gain of one or more electrons, as a cation (positive ion), which is created by electron loss and is attracted to the cathode in electrolysis, or as an anion (negative ion), which is created by an electron gain and is attracted to the anode. The valence of an ion is equal to the number of electrons lost or gained and is indicated by a plus sign for cations and a minus sign for anions, thus: Na^+ , Cl^- , Ca^{++} , $\text{S}^{=}$ ” (<http://dictionary.reference.com/browse/positive+ion>).

Ion dapat dihasilkan oleh manusia dengan bantuan alat penghasil ion maupun secara alami. Seperti petir, alat penghasil ion negatif dapat membersihkan udara. Air dalam ruangan pun melakukan hal yang sama namun, percikan air

tersebut dapat mengandung bakteri yang berefek buruk bagi yang kurang sehat (Day, 2002). Israel (1970) menuliskan:

“The air ions are ultimately further generated through lightning from thunder cloud, corona discharge, combustion, waterfall, waves on water, splashing of rain drops and due to friction between two air levels depending on the nature of the ecosystems and local atmosphere” (Pawar, Meena dan Jadhav 2012, hal.444).

Aerosol dengan jenis bio-aerosol terdiri dari VOCs, ammonia, CO₂ dan debu (Pawar, Meena dan Jadhav 2012). Tabel 2.3 menunjukkan kandungan ion di udara berdasarkan lokasi. Menurut Dhanorkar and Kamra (1993):

“Therefore, in the regions such as urban place, Pune where the concentrations of aerosols are high and associated air ions become low” sedangkan menurut Herve *et.al* (2008): *“At a clean atmosphere place like Himalayas, the concentrations of aerosol particles are low and as a result the concentrations of air ions are high”* (Pawar, Meena dan Jadhav 2012, hal.445).

Para ahli masih memperdebatkannya mengenai apakah ion negatif baik untuk kesehatan? Namun, pada lingkungan penuh ion negatif seperti saat setelah petir menyambar, pegunungan dan angin pantai, manusia merasa lebih baik. Selain itu, ionisasi pada udara dapat merubah, memusnahkan dan membuang zat tertentu yang berbahaya bagi kesehatan seperti VOCs dan PM_x (Daniel, n.d). Berdasarkan penelitian, ion negatif dalam jumlah besar dapat membunuh organisme kecil dan mengurangi penyakit di kantor hingga 20%. Ion positif sebaliknya, mengurangi serotonin¹ yang menyebabkan depresi, hipertensi dan kesulitan bernapas. Sekitar 70% manusia sensitif terhadap kandungan udara (40% sangat sensitif dan 30% tidak terlalu) (Day, 2002).

¹Serotonin adalah sejenis bahan kimia yang dihasilkan oleh otak, kekurangan zat ini dapat menyebabkan depresi (Gale Encyclopedia of Medicine op.cit <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com>.)

Tabel 2.3. Kandungan ion di udara berdasarkan lokasi

Ion table

	Ion concentration per cm ³	
	Positive	Negative
<i>Outdoor environment</i>		
Coastal air	2000	1800
Clean rural air	1200	1000
Lightly polluted urban air	800	700
City centre air	500	300
<i>Indoor environment</i>		
Rural house: no air conditioning	1000	800
Rural house: air conditioning	100	100
City office: air conditioning	100	50

Sumber: *Spirit & Place*

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hideo Nakane, ion negatif pada udara dapat mengurangi stress yang dihasilkan dari bekerja dengan komputer. Karena tak memiliki aroma, penggunaannya dapat diaplikasikan diberbagai macam tempat ramai (Hideo Nakane, 2003). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Valeria Laza dan Sorana D.Bolboaca (2008) mengenai pengaruh ion negatif terhadap telur ayam menghasilkan kesimpulan berikut:

1. Ionisasi dengan dosis cukup dan terus-menerus terhadap inkubator sejak hari pertama hingga telur menetas menghasilkan lebih banyak telur yang menetas secara abnormal jika dibandingkan dengan telur yang tak mengalami ionisasi.
2. Ionisasi dengan dosis tinggi yang dilakukan pada periode pembentukan embrio pada telur (6 hari pertama) menghasilkan pengurangan jumlah telur dengan embrio.
3. Ionisasi dosis tinggi setelah perkembangan ayam dalam telur selesai memberikan efek positif pada perkembangan dan penetasan telur.

Tabel 2.4. Bahan kimia yang dapat dibersihkan oleh ion negatif di udara

No.	Chemical	MF	No.	Chemical	MF
1	Carbon monoxide	CO	16	Naphthalene	C ₁₀ H ₈
2	Nitrogen Oxides	NO, NO ₂	17	Ethylene	C ₂ H ₄
3	Ammonia	NH ₃	18	Pinene (α -)	C ₈ H ₁₄
4	Methane	CH ₄	19	Formaldehyde	CH ₂ O
5	Ethane	C ₂ H ₆	20	Acetaldehyde	C ₂ H ₄ O
6	Butane	C ₄ H ₁₀	21	Methyl Alcohol	CH ₄ O
7	Pentane	C ₅ H ₁₂	22	Methyl Ethyl Ketone	C ₃ H ₈ O
8	Hexane	C ₆ H ₁₄	23	Methylene Chloride	CH ₂ Cl ₂
9	Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	24	Trichloroethane (1,1,1-)	C ₂ H ₃ Cl ₃
10	Benzene	C ₆ H ₆	25	Trichloroethane (1,1,2-)	C ₂ H ₃ Cl ₃
11	Toluene	C ₇ H ₈	26	Carbon Tetrachloride	CCl ₄
12	Xylene (o-,m-,p-)	C ₈ H ₁₀	27	Tetrachloroethylene	C ₂ Cl ₄
13	Trimethylbenzene, 1,2,4-	C ₉ H ₁₂	28	Hexafluoroethane	C ₂ F ₆
14	Ethylbenzene	C ₈ H ₁₀	29	FC-12B	CClBrF ₂
15	Styrene	C ₈ H ₈	30	CFC-113	C ₂ Cl ₃ F ₃

(*) Reported treatment efficiencies vary with initial concentration, relative humidity, and oxygen content.

Sumber: Applications of Air Ionization for Control of VOCs and PMx

2.3 Perkembangan Arsitektur Sistem Pengudaraan

Pengudaraan dalam bangunan merupakan bagian dari arsitektur dan partikel – partikel di udara dapat mempengaruhi perancangannya. Perancangan partikel udara dalam bangunan yang baik dapat mengurangi keluhan kesehatan hingga tingkat kematian pengguna bangunan (Lihat hal.7 dan hal.15) dan salah satu penyelesaiannya adalah mengatur peletakan ventilasi pada bangunan (Lihat hal.13). Sistem pengudaraan pada bangunan mengalami perkembangan dan penggunaan ventilasi pada bangunan modern mulai tergantikan oleh sistem pengudaraan buatan (lihat gambar 2.4). Apakah teknologi dan sistem pengudaraan tradisional tidak lebih baik dari sistem pengudaraan modern?

kelompok pribumi diakui oleh komisi Brundtland sebagai kumpulan pengetahuan tradisional yang sangat banyak, dan perusakan pada sosietas ini akan menyebabkan hilang serta tak dapat dipulihkannya pengetahuan banyak generasi mengenai cara mengatur dan hidup secara harmonis dengan sistem alam yang kompleks (Kennedy, 2004). Pernyataan ini memberikan kejelasan bahwa meskipun kalah dari teknologi masa kini, teknologi vernakular memiliki nilai tinggi dalam

peradaban manusia. Apakah ini artinya bangunan arsitektur vernakular lebih layak?

Tindakan arsitektur vernakular dalam merancang shelter selalu mempertimbangkan alam sebagai rekan kerjanya. Layaknya rekan kerja, manusia tidak melakukan hal yang merugikan alam dalam pembangunan tempat tinggalnya meskipun itu berarti manusia harus kehilangan beberapa kemudahan juga kenyamanan pada ruang hidupnya.

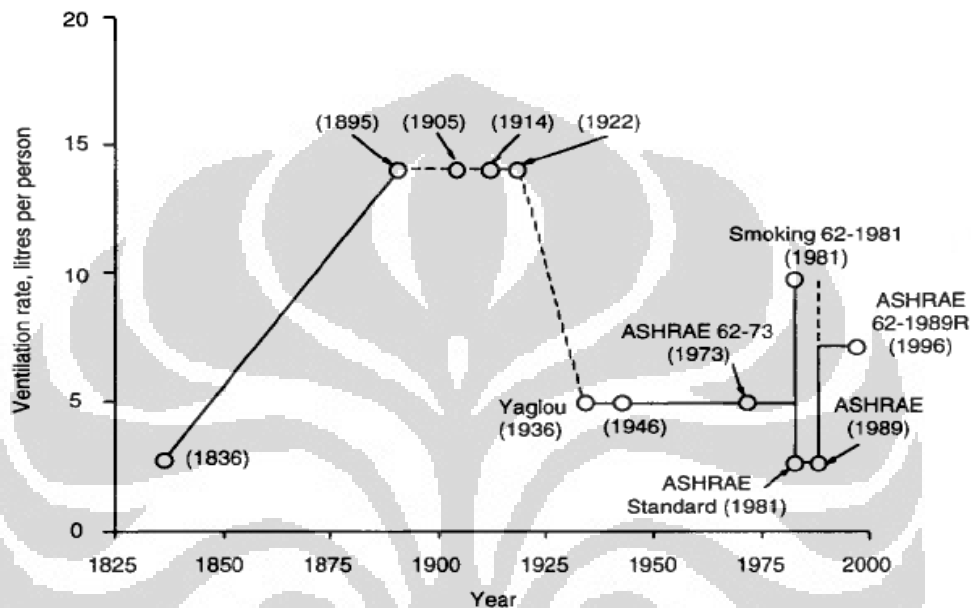


Gambar 2.3. Penghalang tikus pada rumah Fala. Rumah adat Alor, bagian yang ditandai adalah lokasi fala yaitu lingkaran untuk menghalangi tikus masuk.
(sumber: *Alor Living Celebration*)

Sebagai penyedia tempat dan material, alam sangat dihormati meskipun alam pun bertindak sebagai pemberi ancaman terhadap manusia. Hal ini terbukti dari pengalaman saya di Alor saat mengikuti ekskursi Alor yang dilakukan bersama Ikatan Mahasiswa Arsitektur Universitas Indonesia pada tahun 2011. Dalam menghalangi tikus masuk ke dalam rumah misalnya, saat manusia modern menutup rapat bangunan dan menggunakan teknologi yang dimaksudkan untuk mencekik tikus, masyarakat Alor hanya membuat sebuah lingkaran penghalang pada tiang bangunan rumahnya (Tim ekskursi Alor, 2011). Perubahan zaman dan peradaban manusia memunculkan cara penyelesaian masalah sekaligus masalah baru bagi manusia namun, apakah manusia ikut berubah seiring dengan perubahan zaman?

Pada tahun 1980 seorang ahli biologi bernama Edward O. Wilson membuat sebuah postulat yang mengatakan bahwa seluruh manusia memiliki ikatan secara insting dengan makhluk hidup lainnya yang disebut biophilia (Yudelso, 2007). Secara perlahan, insting ini ditekan dengan bangunan rancangan manusia yang tertutup dari dunia luar dan terputusnya hubungan

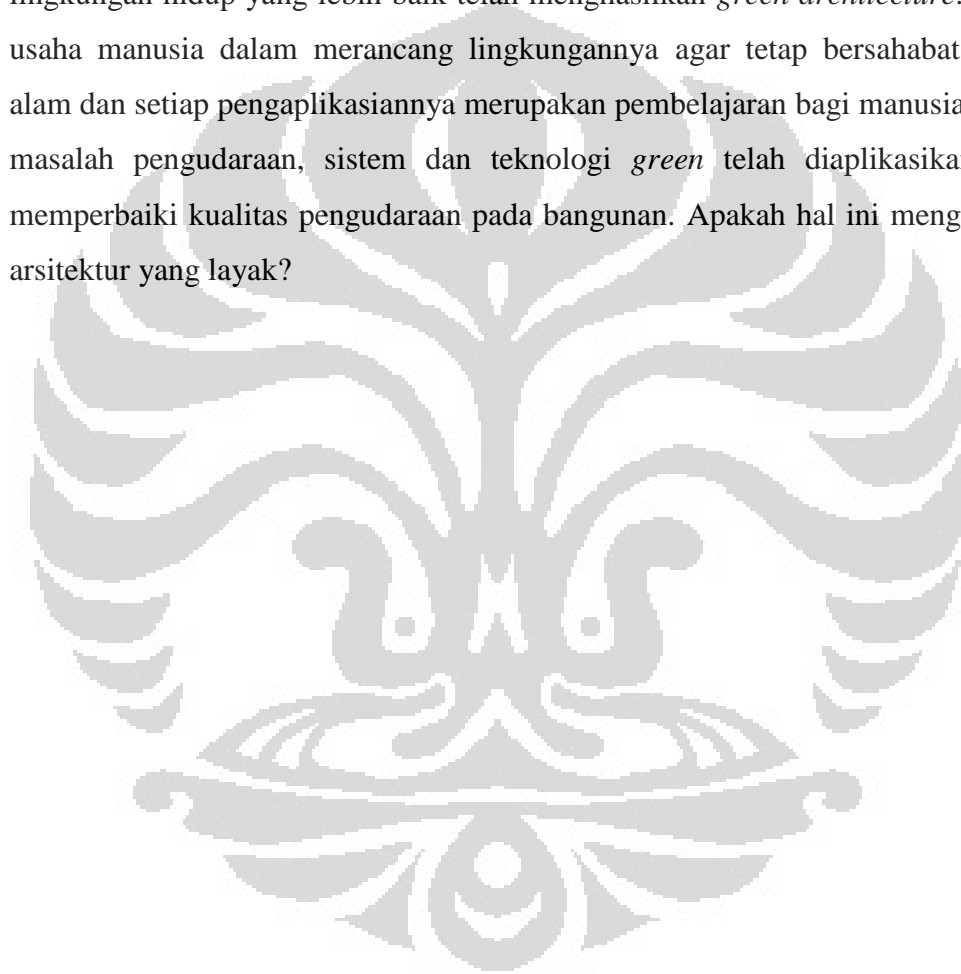
manusia dengan lingkungan luar sekitarnya dan dapat memberi efek negatif bagi kesehatan mental dan fisik manusia. Hal ini terlihat pada cara pandang suku aborigin terhadap tempat mereka di alam berbeda 180⁰ dengan cara pandang yang didasari oleh teknologi masa kini. Hal ini menunjukkan betapa jauhnya sesuatu yang disebut peradaban dunia kini dengan proses terintegrasi yang dibutuhkan untuk bertahan hidup (Wines, 2008).



Gambar 2.4. Grafik peraturan ukuran ventilasi Amerika. Penurunan jumlah minimal ventilasi pada bangunan menunjukkan semakin terputusnya hubungan antara bangunan dan alam. (sumber: Architecture – Comfort and Energy)

Dari grafik (gambar 2.4) bisa disimpulkan bahwa, secara perlahan perancangan bangunan terputus hubungannya dengan alam dan paling parah pada Abad ke-20. Sangat terlihat pada arsitektur abad ke-20, lingkungan buatan manusia lebih banyak menjadi masalah daripada solusi. Pemborosan yang tak bertanggung jawab sehubungan dengan teknologi, perusakan lingkungan dan intervensi lainnya yang dilakukan oleh arsitektur membuat profesi arsitek telah menjadi sasaran kritik sebagai salah satu musuh terbesar lingkungan (James Wines, 2008). James Wines (2000), mengungkapkan bahwa “A major proportion of the architectural profession has remained oblivious to the magnitude of its irresponsible assaults on the land and resources’, while contemporary architectural practice tends to ‘confuse, rather than reinforce, a progressive image of earth friendly architecture” (Guy, 2005, hal.1) Dari pernyataan tersebut bisa disimpulkan bahwa bagi sebagian kalangan, arsitektur bangunan yang ramah lingkungan masih belum

dapat dipahami aplikasinya. Ironisnya, ketidakpahaman ini dipicu oleh para arsitek sendiri yang mengaplikasikan *green architecture* pada perancangan bangunan yang dilakukannya mulai dari penggunaan energi hingga penggunaan material. Sangat jelas bahwa sosietas “maju” lebih mirip penyimpangan dalam sejarah atau dengan kata lain kesalahan besar dalam pengukuran dunia daripada menjadi sebuah model percontohan (Kennedy, 2004). Kini, manusia lebih menghargai alam dan berkembangnya kesadaran manusia serta teknologi akan lingkungan hidup yang lebih baik telah menghasilkan *green architecture*. Sebuah usaha manusia dalam merancang lingkungannya agar tetap bersahabat dengan alam dan setiap pengaplikasiannya merupakan pembelajaran bagi manusia. Dalam masalah pengudaraan, sistem dan teknologi *green* telah diaplikasikan untuk memperbaiki kualitas pengudaraan pada bangunan. Apakah hal ini menghasilkan arsitektur yang layak?



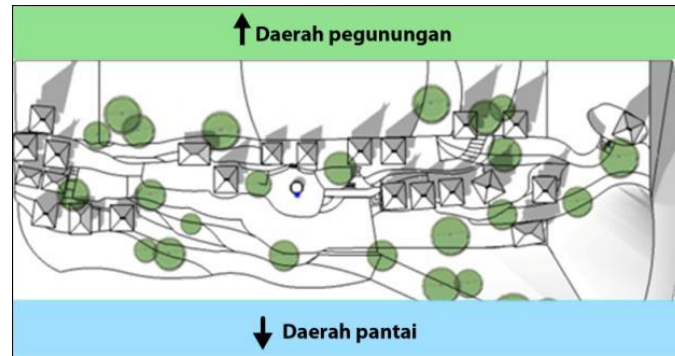
BAB III

STUDI KASUS

Day (2008) menuliskan: “*If ancient societies hadn’t been sustainable we wouldn’t be here today. Would that we could say the same to our grandchildren!*” (hal.23). Kini manusia hidup di zaman modern dan memiliki teknologi mutakhir namun, apakah mutakhir selalu bagus? Kata teknologi layak atau berkelanjutan masih asing pada kebanyakan orang yang dididik dengan anggapan segala hal yang baru itu bagus (Kennedy, 2004). Dari penjelasan tersebut, saya pribadi setuju, kata layak jauh lebih baik daripada mutakhir. Untuk mengetahui teknologi manakah yang lebih layak bagi penghuni bangunan dalam masalah kesehatan pengudaraannya, saya akan menganalisa dan membandingkan beberapa bangunan vernakular dan kontemporer. Arsitektur vernakular yang akan dibahas adalah bangunan kepulauan Alor dan Qatar sedangkan untuk bangunan modern akan membahas *The Crystal of Knowledge* dan *Coventry University Library*.

3.1 Pengudaraan Arsitektur Vernakular Alor, Rumah Fala

Pengudaraan dengan memanfaatkan lingkungan sekitar untuk menghasilkan angin sebagaimana yang terjadi pada sistem pengudaraan bumi (lihat lampiran 1) telah digunakan oleh manusia sejak lama. Dari tabel 2.3, diperkirakan desa Takpala memiliki ion negatif dalam jumlah besar karena terletak di daerah pegunungan dekat pantai dengan perkiraan konsentrasi ion negatif di udara mencapai 1800 per cm^3 . Bangunannya terletak di bawah pepohonan yang rindang sehingga terlindung dari panas matahari dan debu (lihat bab 2 hal.11).



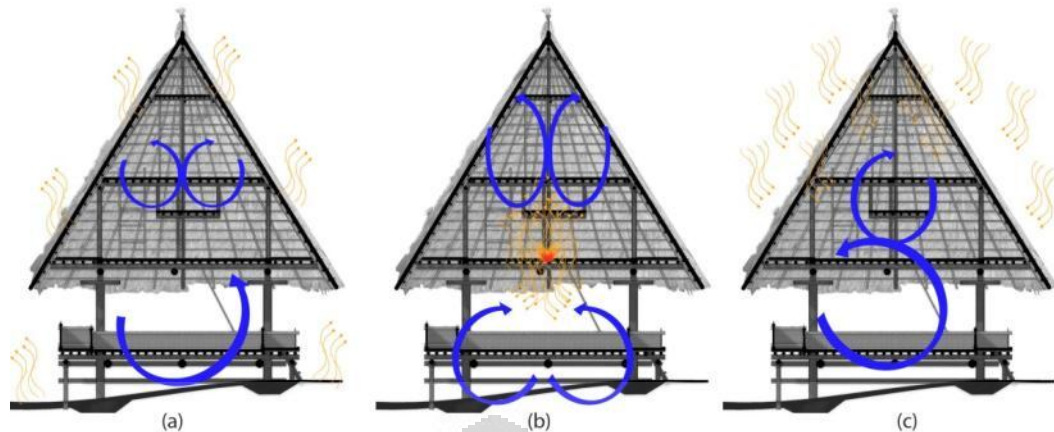
Gambar 3.1. Denah desa Takpala, Alor. Desa terletak di tebing yang menghadap ke laut sehingga angin bebas menerpa bangunan dan pepohonan di sekitar melindungi desa dari panas matahari dengan bayangannya (sumber: telah diolah kembali dari buku Alor Living Celebration)

Rumah adat desa Takpala disebut rumah Fala. Rumah ini terdiri dari empat tingkat dengan tambahan satu tingkat dasar yaitu kolong rumah panggung. Setiap tingkat dihubungkan oleh sebuah tangga yang juga menjadi jalur sirkulasi udara di dalam rumah (Tim Ekskursi Alor, 2011). Lantai satu disebut Liktaha, berfungsi seperti beranda dan mampu menyaring udara kotor dan panas sebelum masuk ke dalam bangunan. Ruangan ini merupakan pusat kegiatan dan menjadi sirkulasi udara utama pada bangunan karena tak ada bukaan pada lantai 2 (Falahomi) hingga lantai 4. Tim Ekskursi Alor (2011) menuliskan: “Dikarenakan tidak adanya bukaan pada tingkat dua rumah mereka, maka tidak ada udara dingin dari luar yang masuk. Selain itu, asap akibat sisa pembakaran tidak dapat keluar ruangan sehingga membuat ruangan berwarna hitam” (hal.39). Hal itu menyebabkan bagian dalam bangunan tidak mendapatkan cahaya karena minimnya bukaan dan semakin buruk kondisinya karena ruangan juga digunakan sebagai tempat memasak. Meskipun tidak baik secara pengudaraan, api di dalam ruangan dapat menghangatkan penghuni di malam hari yang tidur disekitar tempat memasak atau tepat di bawah ruang memasak. Lebih jelasnya seperti terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2. Rumah Fala dalam tahap pembangunan.

(Sumber: Dok. Pribadi)



Gambar 3.3. Perkiraan aliran udara pada rumah Fala saat malam hari (a) saat memasak (b) dan saat siang hari (c)

(sumber: telah diolah kembali dari buku *Alor Living Celebration*.)

Rumah Fala memiliki sedikit bukaan, aliran udara terbesar bergerak dari Liktaha menuju Falahomi melalui pintu masuk utama. Bukaan tersebut hanya dibantu celah pada langit-langit yang terbuat dari anyaman bambu dan atap yang terbuat dari jerami dalam mengatur sirkulasi udara pada bangunan. Malam hari, udara di luar bangunan lebih dingin dari udara dalam bangunan yang menyebabkan permukaan bangunan mengalami penurunan suhu setelah mengalami pemanasan pada siang hari. Perbedaan tekanan udara akibat tungku dan tertutupnya bagian lantai dua mengakibatkan udara akan mengalir dari Liktaha (lantai 1) ke Falahomi (lantai 2). Di lantai dua, udara bergerak dari bagian tengah yang hangat ke bagian sisi yang lebih dingin akibat pengaruh udara luar dan terus berputar seperti itu (a). Keadaan yang tidak jauh berbeda terjadi saat memasak (b). Siang hari, suhu di luar bangunan lebih panas dari suhu dalam bangunan sehingga udara berputar pada bagian tengah bangunan (c). Analisa aliran udara ini dilakukan berdasarkan penjelasan Edward Allen (referensi: Lampiran 2)

Penempatan dapur masak di dalam bangunan menjadi hal penting dalam pengudaraan rumah Fala. Selain asapnya dapat meningkatkan daya tahan material bangunan serta mengawetkan makanan yang terletak pada lantai 3 dan 4, api dan bara api dapur ini menghasilkan perbedaan tekanan pada bangunan yang menimbulkan pergerakan udara. Tanpa adanya dapur dalam ruangan, suhu dan tekanan udara pada bangunan tidak berbeda terlalu jauh yang dapat menyebabkan udara dalam bangunan tidak mengalir dengan baik mengingat sedikitnya bukaan pada bangunan. Sedikitnya bukaan dan tungku di dalam bangunan menghasilkan

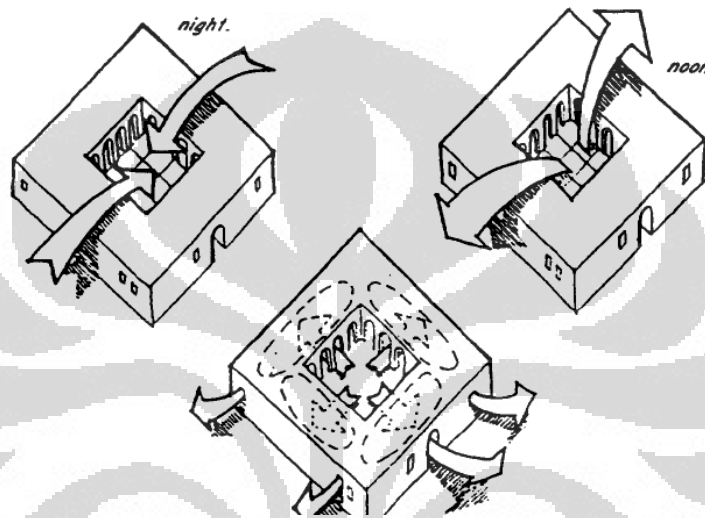
udara hangat di dalam ruangan yang berfungsi sebagai penghangat tubuh saat malam hari. Oleh karena itu, Falahomi selain sebagai dapur juga sebagai ruang tidur.

Bangunan dirancang tidak memiliki banyak bukaan karena berfungsi juga sebagai tempat cadangan makanan yang memerlukan kondisi udara ruang yang tepat. Berdasarkan tabel 2.2, kesalahan pada perancangan pengudaraan seperti ini dapat menyebabkan resiko kesehatan seperti sesak nafas, lesu, pusing jamur, hingga keracunan jika kandungan CO₂ dalam ruangan sangat tinggi (lihat tabel 2.2). Selain itu, bangunan ini mudah untuk dimasuki oleh bakteri, serbuk sari, spora juga debu karena tidak adanya penyaring udara. Debu, dihasilkan oleh proses pembakaran saat memasak dan udara dari luar yang memungkinkan untuk membawa racun lingkungan. Banyaknya pepohonan disekitar desa sebenarnya sudah mengurangi masalah debu karena pepohonan dapat mengikat partikel debu (lihat bab 2 hal.11). Namun, tanaman pun dapat mengkontaminasi udara seperti serbuk sari, spora dan bakteri yang dapat menimbulkan alergi dan penyakit. Kekurangan pengudaraan bangunan terbantu dengan pemilihan lokasi yang memiliki kandungan ion udara tinggi sehingga kebersihan udara dapat terjaga. (lihat bab 2 hal. 16)

3.1 Pengudaraan Bangunan Vernakular Qatar

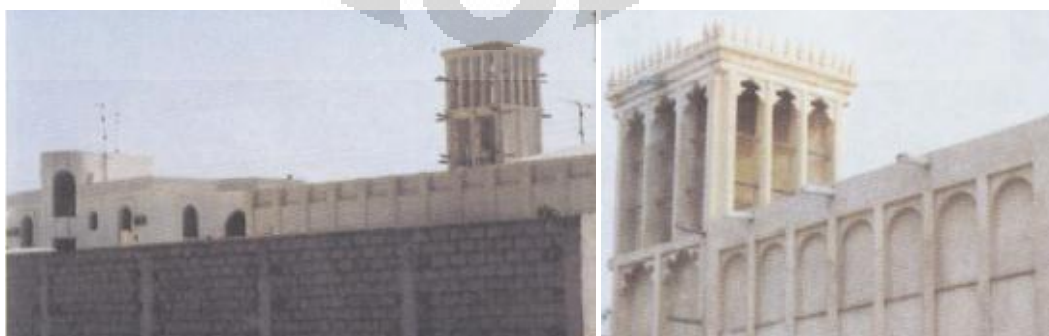
Pada iklim padang pasir yang ekstrim seperti Qatar, dimana suhu pada siang dan malam hari jauh berbeda, perancangan yang terintegrasi dengan keadaan lingkungan sekitarnya membuat bangunan tetap dapat memberikan kenyamanan pada penghuninya. Bangunan dirancang saling menempel dan berdekatan satu sama lainnya sehingga jalan terbentuk seperti parit. Keadaan ini menghasilkan bangunan yang saling memberikan bayangan dan juga pada jalanan. Bentuk, struktur dan material bangunan dipilih agar sesuai dengan iklim dan menghasilkan lingkungan yang sejuk bagi pengguna bangunan. Arsitektur tradisional Qatar merancang bangunan dengan fasad tertutup dengan sedikit bukaan dan mendapatkan cukup bayangan. Bentuk dasar bangunan tradisional menggunakan kombinasi susunan, bayangan dan ventilasi yang menghasilkan bangunan yang bernafas bersama alam dan menempatkan sebuah air mancur yang

mendinginkan udara dengan uapnya, mengurangi debu, memberikan bayangan, pemandangan juga menenangkan secara psikologi. Bagian atap bangunan menerima panas matahari paling tinggi dan menerima dinginnya suhu malam hari. Meskipun begitu, warna atap yang cerah pada bangunan tradisional, berguna untuk merefleksikan panas matahari (Gallo,1998).



Gambar 3.4. Aliran udara pada bangunan vernakular Qatar. Aliran udara terjadi akibat keberadaan halaman tengah
(sumber: Architecture: Comfort and Energy)

Pada bagian tengah bangunan terdapat halaman yang terbuka pada panas siang hari yang menyebabkan suhu pada bagian ini lebih tinggi dari sekitarnya. Hal ini memicu terjadinya angin yang bergerak dari jalanan yang bersuhu lebih rendah karena mendapat bayangan yang kemudian masuk ke dalam rumah. Halaman ini pun menjadi penyaring udara kotor pada bangunan (gambar 3.4).



Gambar 3.5. Jenis bukaan pada bangunan vernakular Qatar. (kiri) dinding ventilasi, (kanan) menara angin.

(sumber: Architecture: Comfort and Energy)

Dalam memasukkan udara ke dalam bangunan, bangunan vernakular Qatar memiliki dua metode unik yaitu dinding ventilasi dan menara angin. Dinding ventilasi merupakan metode pengudaraan bangunan dengan memanfaatkan ruang yang tersisa diantara kolom dan balok pada bangunan sedangkan menara angin memanfaatkan pemanasan yang terjadi pada menara pada siang hari dan pendinginan saat malam hari untuk mengalirkan udara dari dan keluar bangunan (Gallo, 1998).

Pengudaraan pada bangunan ini mudah untuk dimasuki oleh debu dari jalan karena konsep pengudaraannya yang menarik udara dari luar. Jika jalan tidak ditanami pepohonan maka debu yang masuk ke dalam bangunan akan mengandung partikel dan organisme kecil yang dapat mengganggu kesehatan. Berdasarkan tabel 2.3, konsentrasi ion negatif pada bangunan diperkirakan sekitar 800 per cm^3 karena tidak menggunakan pengudaraan buatan dan hal ini dapat membantu membersihkan debu yang masuk terbawa angin dari luar bangunan. Selain itu, dibangun juga air mancur untuk mengurangi masuknya debu ke dalam bangunan. Meningkatnya kelembaban udara pada udara dapat mengurangi intensitas debu. Air pun dapat menghasilkan ion negatif yang dapat meningkatkan kualitas udara. Hanya saja, jika bermain dekat air mancur ini sebaiknya segera membersihkan tubuh karena air kemungkinan mengandung bakteri (lihat bab 2 hal 15).

Bangunan dirancang agar udara selalu bergerak pada bangunan untuk menjamin suplai udara segar meskipun, lingkungan yang panas dan kering memungkinkan udara mengandung zat-zat yang tidak baik bagi tubuh. Berdasarkan tabel 2.2, perancangan pengudaraan seperti ini dapat menyebabkan resiko kesehatan seperti sesak nafas dan keracunan udara karena masuknya kontaminan dari luar bangunan.

3.2 Pengudaraan Perpustakaan Pusat Universitas Indonesia

The Crystal of Knowledge, perpustakaan pusat Universitas Indonesia, merupakan perpustakaan terbesar di Asia Tenggara. Bangunan modern ini apakah mampu memberikan pengudaraan yang sehat bagi pengunjungnya?



Gambar 3.6. Lingkungan sekitar bangunan perpustakaan pusat UI
(sumber: dok. Pribadi)

Cahaya matahari yang berlimpah pada bagian Timur, Barat dan Utara dimanfaatkan dengan mengaplikasikan *green roof* pada bangunan. Bagian ini tidak terlalu banyak menggunakan bukaan untuk pencahayaan sehingga dapat mengurangi beban pendinginan bangunan. Pemanfaatan cahaya ini dapat meningkatkan suhu permukaan bangunan yang menyebabkan pergerakan udara ke atas dan karena bagian Selatan bangunan mendapat banyak bayangan maka udara sering bergerak pada bagian ini (dijelaskan pada lampiran 1).



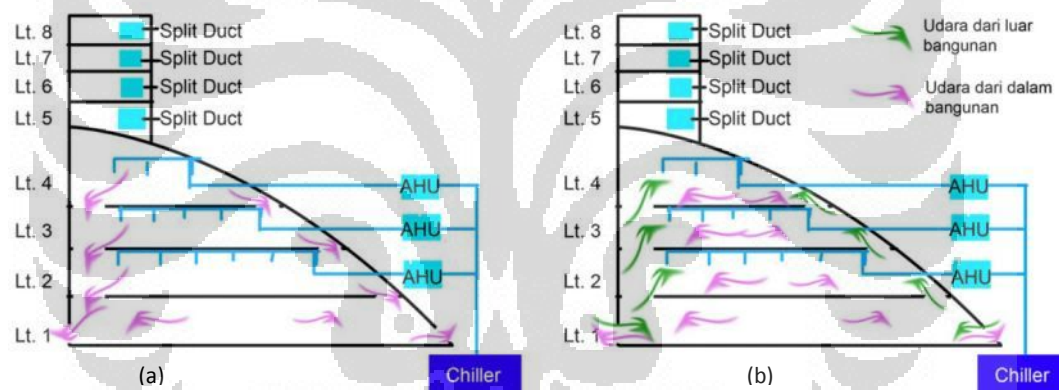
Gambar 3.7. Tampak atas perpustakaan pusat Universitas Indonesia
(sumber: Wikimapia)



Gambar 3.8. Bagian perpustakaan yang menghadap ke danau. Hampir seluruhnya terbuat dari material kaca.
(sumber: dok. pribadi)

Universitas Indonesia

Ruang yang menghadap ke arah danau mendapatkan banyak bayangan baik dari bangunan juga pepohonan dan dijadikan ruang untuk berkumpul dan juga vista dari dalam bangunan. Bentuk bangunan yang saling menutupi mampu memberikan bayangan pada bangunan itu sendiri terutama pada bagian bawah bangunan. Pada beberapa lokasi, bagian atas bangunan pun mendapatkan bayangan dari bentuk bangunan. Daerah sekitar danau yang masih sedikit terbangun membuat angin tidak terhalang oleh bangunan sehingga daerah sekitarnya mendapatkan aliran angin dengan lancar. Angin dan penguapan air yang berasal dari danau juga membantu mengatur suhu pada ruang. Udara yang membawa uap air dari danau juga kandungan zat lainnya ini berkemungkinan masuk ke dalam bangunan karena pintu masuk dan ventilasi di lantai dasar selalu terbuka.



Gambar 3.9. Perkiraan aliran udara yang terjadi pada perpustakaan UI. (a) tekanan udara pada lantai dasar bangunan menarik udara dingin lantai atas yang menghalau udara luar masuk. (wawancara Pak Teguh.) (b) Udara dari luar masuk ke dalam bangunan melalui bukaan pada lantai dasar dan menyebar ke seluruh bangunan. (referensi: lampiran 2)

(sumber: telah diolah kembali dari wawancara Pak Teguh.)

Bagian lantai dasar yang terbuka membuat udara dari luar dapat masuk tanpa adanya penyaringan udara terlebih dahulu yang memungkinkan polusi udara menyebar di dalam ruangan. Seluruh lantai pada bangunan terhubung pada bagian koridornya sehingga udara luar yang masuk dari lantai dasar dapat menyebar ke seluruh bagian bangunan. Namun, kemungkinan terjadinya hal ini berkurang karena tekanan udara pada lantai dasar yang lebih tinggi dari lantai lainnya sehingga udara dari luar tertahan oleh laju udara dari dalam yang ingin keluar dari bangunan. Tidak adanya *exhaust* kecuali pada bagian toilet membuat bukaan pada

lantai dasar menjadi tempat keluarnya udara dari dalam bangunan. Bukaan pada lantai 1 tidak wajib dibuka bahkan sebaiknya pintu masuk menggunakan pintu otomatis. Karena banyaknya bukaan pada lantai dasar membuat pengudaraan pada lantai di atasnya mengalami perubahan dari yang direncanakan (Wawancara Pa Teguh, 22 Mei 2012).

Bagian lantai 2-7 (ruang koleksi, koridor, ruang baca, multimedia, kantor, ruang presentasi dan ruang rapat) telah menggunakan pengudaraan buatan sedangkan lantai 1 mendapatkan udara segar dari bukaan bangunan dan udara yang mengalir dari lantai di atasnya. Keadaan ini membuat suhu bangunan yang diharapkan sekitar 20°C melonjak hingga suhu rata-rata tiap ruangan adalah 28°C karena udara dingin dari AHU pada tiap lantai seringkali tidak sempat berputar dan langsung bergerak menuju lantai dasar. Udara pada lantai 4 diperkirakan yang paling cepat mengalir ke dasar bangunan sehingga suhu lantai tersebut melonjak hingga 29°C . Memang tidak seluruhnya akibat aliran udara karena pemanasan ruangan terbesar berasal dari pemanasan kaca bangunan. Suhu rata-rata tersebut sebenarnya sudah termasuk suhu kamar yang membantu meringankan beban pengunjung perpustakaan dalam mengatur suhu tubuhnya namun, pihak pengelola sering mendapat keluhan mengenai suhu yang dirasa kurang nyaman ini. Meskipun begitu, pengelola gedung belum mendapati keluhan yang berhubungan dengan kesehatan (Wawancara Pa Teguh, 22 Mei 2012).

Perabotan yang digunakan seperti meja dan kursi merupakan produk pabrikan dan berdasarkan tabel 2.2, perabotan pabrikan menghasilkan VOCs yang menjadi sumber polusi di dalam bangunan. Perabotan berbahan kimia seperti ini belum ada di masa lalu sehingga arsitektur vernakular tidak menghasilkan polusi VOCs di dalam bangunannya. Namun, VOCs dapat di saring menggunakan ozon (lihat bab 2 hal.13) dan ion negatif (lihat tabel 2.4) yang dapat dihasilkan oleh teknologi terkini. Seperti gali lubang tutup lubang memang namun, udara dapat tetap bersih.



Gambar 3.10. Sistem pengudaraan pada perpustakaan pusat Universitas Indonesia (sumber : presentasi tim kontraktor 29 Maret 2010)

Pengudaraan pada bangunan ini memungkinkan untuk dimasuki oleh debu dan zat-zat berbahaya lainnya. Hal ini terjadi karena pada bagian jalan, pepohonan belum terlalu banyak karena masih dalam tahap penumbuhan dan adanya kontak dengan lingkungan luar pada lantai dasar. Karbon monoksida dan debu paling banyak terdapat pada permukaan tanah (lihat Gambar 2.2) dan tidak adanya penyaring udara alami atau pun buatan pada beberapa pintu masuk di lantai dasar meningkatkan kemungkinan masuknya zat-zat yang tidak baik bagi kesehatan.

Dari Tabel 2.3, diperkirakan kandungan ion negatif pada bangunan sekitar $50/\text{cm}^3$ sedangkan konsentrasi ion positif sekitar $100/\text{cm}^3$. Keadaan ini sangat jauh jika dibandingkan dengan konsentrasi ion negatif pada bangunan Alor yang berdasarkan tabel yang sama sekitar $800-1800/\text{cm}^3$ dan ion positif sekitar $2000/\text{cm}^3$. Artinya, secara alami, bangunan vernakular Alor menghasilkan udara bersih lebih banyak namun, bangunan perpustakaan memiliki ion positif lebih sedikit sehingga kemungkinan berkurangnya serotonin pada pengunjung tidak terlalu besar. Sedikitnya ion negatif pada bangunan modern dengan pengudaraan buatan sebenarnya dapat diantisipasi dengan alat yang dapat menghasilkan ion negatif dan menyaring debu pada ruangan. Kesalahan pada perancangan pengudaraan seperti ini, berdasarkan kandunga udaranya, dapat menyebabkan

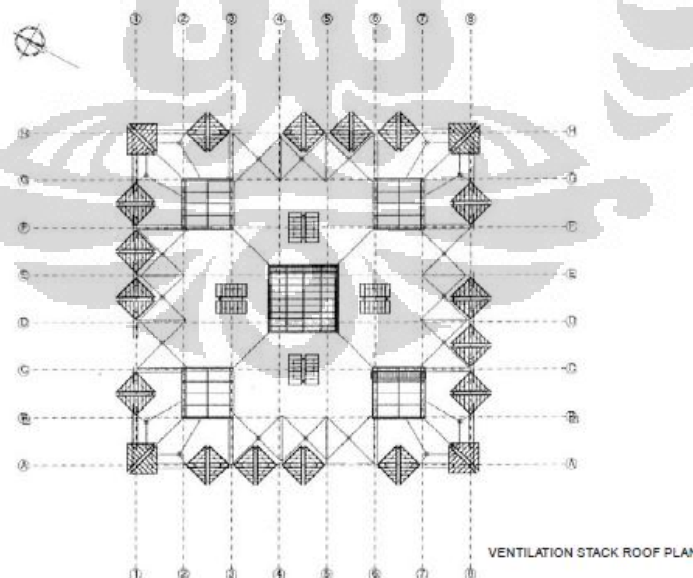
resiko kesehatan seperti sesak nafas, lemah, pusing akibat kandungan udaranya (lihat tabel 2.2)

3.3 Pengudaraan Perpustakaan Universitas Coventry

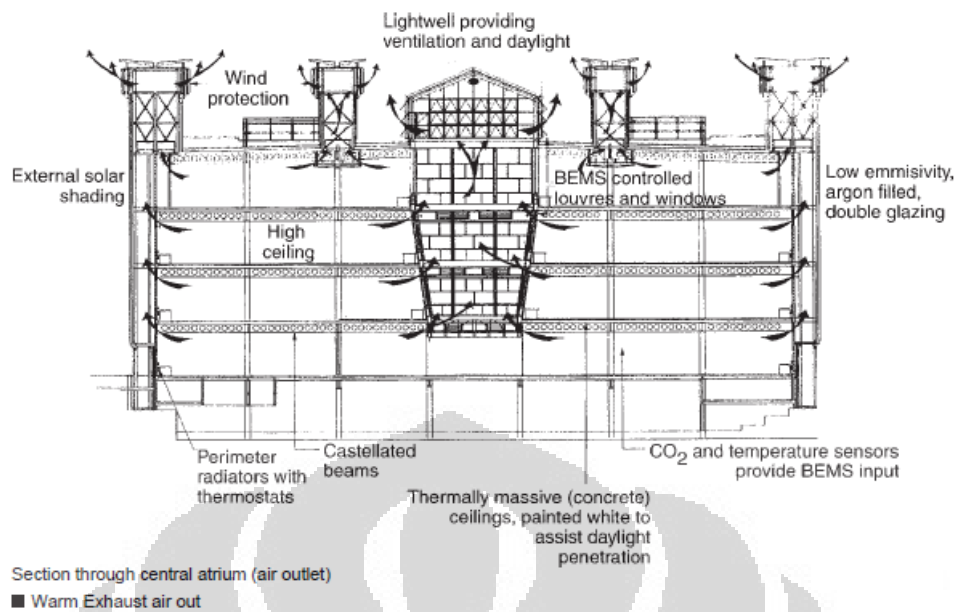
Sistem penghawaan alami diaplikasikan pada bangunan ini meskipun terletak pada daerah yang sibuk dan penuh kebisingan serta polusi. Strategi yang digunakan adalah dengan membangun sumur cahaya yang juga berfungsi sebagai ruang sirkulasi udara pada setiap seperempat luas lantai. Sumur cahaya ini berbentuk menara dengan ketinggian 40 meter dan bentuk yang dirancang untuk menghalau hujan dan udara panas serta meningkatkan kecepatan udara (Smith, 2005). Gambar 3.12 memperlihatkan mengenai denah sumur cahaya.



Gambar 3.11. Perpustakaan universitas Coventry
(sumber :Architecture in a Climate of Change-A guide to sustainable design)



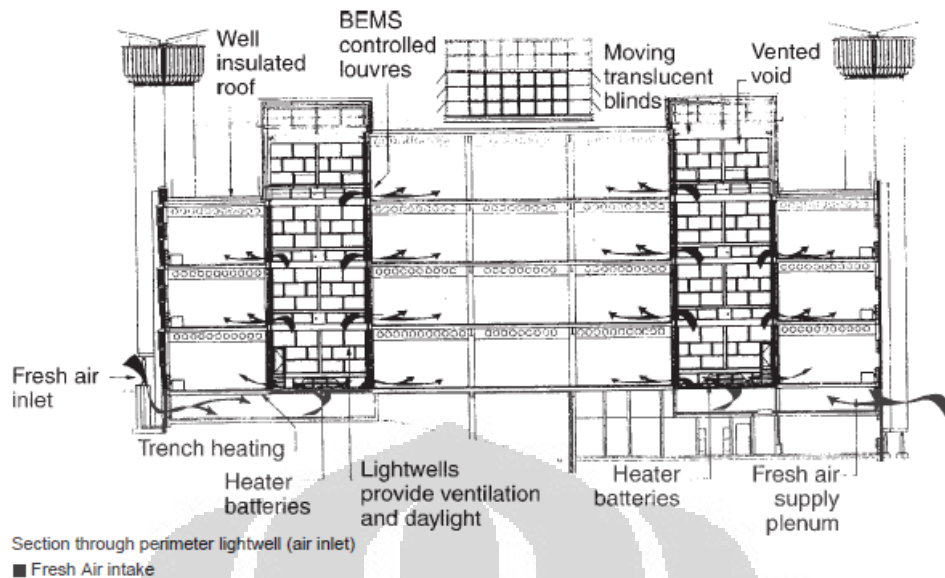
Gambar 3.12. Denah sumur cahaya
(sumber :Architecture in a Climate of Change-A guide to sustainable design)



Gambar 3.13. Sirkulasi udara keluar
(sumber :Architecture in a Climate of Change-A guide to sustainable design)

Udara panas akan naik dan udara sejuk akan masuk melalui kantung udara di bawah lantai yang bergerak menuju dasar sumur cahaya. Udara kemudian bergerak naik dan mengalami kenaikan suhu di dalam ruang sirkulasi secara alami dan sering juga dibantu oleh radiator. Udara keluar melalui saluran yang terletak pada ujung bangunan (gambar 3.13). Saluran ini memiliki BEMS (*Building Energy Management System*) yang menahan udara buangan masuk kembali.

BEMS sangat penting pada bangunan dengan ventilasi alami seperti ini. Tidak hanya menahan udara buangan masuk kembali, sistem ini mengatur bukaan berdasarkan temperatur dan CO₂ pada setiap bagian bangunan. Sistem ini diatur agar udara yang masuk dapat dioptimalkan dengan bukaan yang seminimal mungkin. Sistem ini pun mengatur kelembaban dengan membiarkan udara malam masuk yang sekaligus mengurangi panas yang diterima bangunan pada siang hari. Karena diprogram menggunakan algoritma yang mampu berkembang, sistem ini dapat belajar untuk mengoptimalkan sistem bangunan (Smith, 2005). Gambar 3.14 menggambarkan mengenai sirkulasi udara yang masuk.



Gambar 3.14. Sirkulasi udara masuk

(sumber :Architecture in a Climate of Change-A guide to sustainable design)

Penggunaan ventilasi dan pencahayaan alami mampu mengurangi 85% beban energi (64 kWh/m^2) dan emisi CO_2 (20 kg/m^2) ke alam bebas (CO_2 20 kg/m^2) per tahunnya dan tetap menjadi bangunan yang nyaman bagi penghuninya (Smith, 2005). Karena tidak menggunakan pengudaraan buatan dan terletak di daerah perkotaan, bangunan kemungkinan memiliki konsentrasi ion negatif sekitar $300 - 800/\text{cm}^3$. Satu hal yang menjadi kekurangan ventilasi alami adalah adanya kemungkinan masuknya udara yang terpolusi ke dalam bangunan. Untuk mengurangi kemungkinan ini pada daerah berpolusi tinggi, udara segar yang masuk ke dalam bangunan harus dari daerah yang tinggi, di atas zona partikel untuk diesel (lihat bab 2 halaman 13). Selain itu, udara buangan pun harus di keluarkan pada ruang yang tinggi agar tidak mengkontaminasi udara bersih yang ada.

3.4 Pembahasan

Salah satu sumber pencerahan akan kepedulian lingkungan adalah kembali pada budaya kuno yang telah terbukti memiliki keterhubungan dengan alam. Bahaya dari pilihan ini adalah kemungkinan timbulnya nostalgia kejayaan masa lalu yang memperhatikan alam dan terisolasi dari teknologi tinggi masa kini (Wines, 2008). Belajar dari arsitektur vernakular, ventilasi merupakan salah satu bagian paling penting dalam mengatur kenyamanan di dalam ruangan. Menurut

American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), menambah ventilasi dan distribusi udara merupakan cara terbaik dan termurah untuk menyegarkan udara dalam ruangan (Binggeli, 2003). Kedua kutipan tersebut mendukung penggunaan pengudaraan alami agar diaplikasikan pada bangunan namun, dengan kondisi polusi udara saat ini, penggunaan pengudaraan buatan tetap diperhitungkan. Dalam prakteknya kebanyakan bangunan menggunakan kombinasi sistem ventilasi aktif dan pasif (Alread, 2007). Penggabungan sistem ini dilakukan untuk memberikan udara segar dari alam dan pengurangan konsumsi energi dari pengudaraan buatan.

Ventilasi berfungsi sebagai tempat pertukaran udara agar polutan dalam bangunan tidak menumpuk namun juga menjadi tempat masuknya polutan dari luar. Pengudaraan menggunakan ventilasi mudah untuk dimasuki oleh bakteri, serbuk sari, spora, debu dan zat-zat berbahaya lainnya yang dapat menimbulkan alergi dan penyakit. Arsitektur vernakular memanfaatkan keadaan alam sekitarnya untuk menyaring polutan di udara sedangkan arsitektur modern kurang mengaplikasikan hal ini dan lebih bergantung pada teknologi dalam merancang ruang hidup manusia.

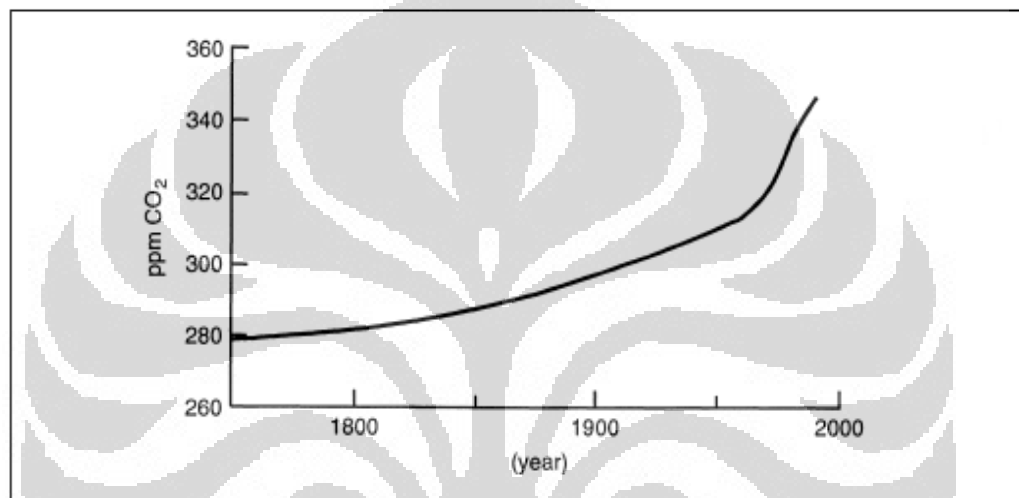


Gambar 3.15. Bangunan yang memanfaatkan alam. Leluhur kita membangun rumah dengan memanfaatkan lingkungan sekitarnya
(sumber : Spirit & Place)



Gambar 3.16. Pembangunan yang merusak alam. Perkembangan teknologi menghasilkan lingkungan yang tidak bersahabat dengan alam
(sumber : Spirit & Place)

Teknologi kini mampu menyaingi alam dalam menciptakan penghawaan ruang hidup yang nyaman bagi manusia misalnya saja dengan terciptanya banyak sistem penghawaan buatan dan penyaring udara (lihat bab 2 hal. 13 & 14). Hal ini menyebabkan pada bangunan modern, terutama pada bangunan-bangunan tinggi, ventilasi tidak terlalu diperhitungkan dalam proses perancangan karena keberadaannya sebagai pengatur udara pada ruangan telah tergantikan oleh pengudaraan buatan. Keadaan ini didukung dengan buruknya kualitas udara sehingga penggunaan ventilasi di daerah perkotaan kurang diminati.



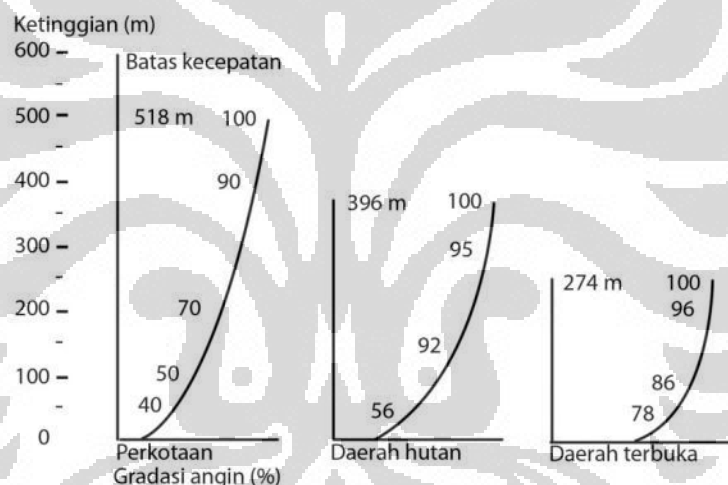
Gambar 3.17. Kandungan CO₂ di udara dari abad ke-18 hingga abad ke-20
(sumber :*Architecture: Comfort and Energy*)

Udara di daerah perkotaan mulai terkontaminasi oleh materi yang dapat mengurangi kualitas udara dan berasal dari beragam mesin buatan manusia. Manusia di negara industri mengalami kontak dengan polusi setiap hari dan hal ini meningkatkan 80-90% kasus kanker dan alergi di dunia (Berge, 2011). Meskipun alam dapat membersihkan dan memperbaharui kembali udara di alam bebas, namun kemampuan ini memiliki batasnya dan dengan intervensi yang dilakukan oleh manusia pada udara saat ini, kemampuan alam untuk meregenerasi udara semakin tidak mencukupi kebutuhan manusia. Banyak hal yang harus dilakukan oleh manusia untuk membantu alam dalam memperbaiki kualitas udara di alam bebas, diantaranya adalah:

- Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil baik dengan penghematan maupun penggunaan sumber energi lain yang lebih ramah lingkungan

- Menggunakan mesin pembakaran yang bekerja dengan baik dan tidak menghasilkan udara kotor
- Pemasangan filter pada saluran udara sehingga hanya gas yang mudah diperbaharui yang dilepas ke alam bebas

Perlu atau tidaknya ventilasi pada bangunan sebenarnya telah berlangsung jauh sebelum polusi udara akibat bahan bakar fosil ditemukan. Sebelum seorang ilmuwan Jerman bernama Pettenkofer berhasil membuktikan bahwa konsentrasi CO₂ pada udara merupakan hal wajar selama masih dibawah 1000 ppm, ventilasi merupakan masalah sosial bagi semua kalangan. Setelah melalui berbagai macam penelitian dan percobaan, akhirnya ventilasi tetap diaplikasikan pada bangunan sebagai ruang sirkulasi udara dengan beberapa aturan (Gallo, 1998).



Gambar 3.18. Batas kecepatan angin berdasarkan ketinggian.

(sumber: digambar ulang dari buku Introduction to architectural science the basis of sustainable design)

Polusi udara merupakan tantangan utama bagi arsitek dalam memasukkan udara dari luar ke dalam bangunan selain itu, semakin kuatnya tiupan angin seiring dengan naiknya ketinggian pun menjadi kendala saat merancang ventilasi udara pada bangunan tinggi (gambar 3.18). Keadaan tersebut memicu peraturan penggunaan penghalang udara pada bangunan Allen (2005). Pergerakan udara kotor tersebut dihalau masuk pada bangunan-bangunan di perkotaan dengan tujuan mempertahankan kebutuhan fungsi ruang pada bangunan yang akan berkurang efektifitasnya jika terjadi pertukaran udara dengan lingkungan sekitarnya. Pemasangan penghalang udara ini dimaksudkan untuk mengatur iklim di dalam bangunan agar tetap nyaman baik dari tingkat

kelembaban maupun suhu udara. Menghalau udara masuk ke dalam bangunan mungkin bukan hal yang sulit namun, memperbaiki keadaan yang ditimbulkan akibat tidak masuknya udara ke dalam bangunan merupakan salah satu tantangan terbesar dalam perancangan bangunan. Menghalau udara untuk masuk dapat menyebabkan resiko kesehatan seperti sesak nafas, lesu, pusing jamur, hingga keracunan jika kandungan CO₂ dan VOCs dalam ruangan tinggi (lihat tabel 2.2). Kendala pengudaraan yang dialami kini memicu berkurangnya penggunaan ventilasi pada bangunan dan menjadi salah satu faktor SBS (*Sick Building Syndrome*). Diperkirakan bahwa kurangnya udara segar merupakan faktor pendukung namun bukan penyebab utama SBS. Kita tahu bahwa ventilasi merupakan kebutuhan namun kita masih belum yakin apa yang dibutuhkan bangunan juga penghuninya untuk menjadi sehat dan nyaman (Gallo, 1998).

Studi kasus dilakukan dari data yang saya miliki (observasi langsung dan studi literatur) dan telah dipilih agar arsitektur vernakular dan modern dapat memberikan contoh baik dan buruknya. Alor dan Qatar dipilih karena memiliki lokasi yang sangat baik dimana menghasilkan banyak ion dan oksigen juga terhindar dari polusi udara yang terjadi di daerah perkotaan yang menjadikan keadaan ini sesuai dengan keadaan bangunan ini pertama kali dirancang meskipun ada kekurangan dalam kandungan udara yang masuk ke dalam bangunan. Perpustakaan UI tidak memberikan hasil yang saya perkirakan karena dengan banyaknya buku saya memperkirakan akan ada perlakuan khusus dalam pengudaraannya. Pintu lantai dasar yang terbuka saya kira merupakan salah satu sistem pengudaraan namun ternyata hanya sebuah kesalahan penggunaan bangunan semata. Untuk bangunan perpustakaan Universitas Coventry, meskipun terletak pada daerah perkotaan menggunakan sistem pengudaraan modern yang meningkatkan sistem ventilasi vernakular.

Dari studi kasus yang dilakukan, baik arsitektur vernakular maupun arsitektur modern memiliki kelebihan dan kekurangannya masing – masing dalam masalah pengudaraan dalam bangunan. Perbandingan kelebihan dan kekurangan tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2. Pada tabel 3.1, dapat disimpulkan bahwa masalah yang dihadapi arsitektur modern lebih banyak daripada arsitektur vernakular. Namun, masalah tersebut timbul akibat

penggunaan teknologi dan perancangan itu sendiri yang ironisnya, dimaksudkan untuk meningkatkan kualitas hidup pengguna ruangan.

Tabel 3.1. Perbandingan penyebab penurunan kualitas udara arsitektur vernakular dan arsitektur modern.

Penyebab kualitas udara menurun	Arsitektur	
	Vernakular	Modern
Polusi udara di dalam bangunan	Racun lingkungan, debu, zat hasil pembakaran, CO ₂ , bio-polutan	Racun lingkungan, VOCs, bio-polutan, debu, zat hasil pembakaran, CO ₃ , CO ₂ , CO, CFC, zat asam, radioaktif, photochemical oxidizing, zat hasil pembakaran,
Sumber polusi udara di dalam bangunan	Proses pembakaran, makhluk hidup	Proses pembakaran, makhluk hidup, material, penggunaan alat elektronik
perancangan, pemeliharaan dan pengoperasian sistem ventilasi yang buruk	Seringkali kurang bukaan untuk sirkulasi udara	jamur pada pipa pengudaraan, kurangnya udara segar
penggunaan bangunan yang tak sesuai dengan perancangan.	Populasi terlalu padat, jenis kegiatan tidak sesuai dengan sirkulasi udara	Populasi terlalu padat, penggunaan bahan kimia berlebihan, jenis kegiatan tidak sesuai dengan sirkulasi udara

Beberapa ahli, meskipun masih dalam perdebatan, menyatakan bahwa ion positif dan negatif di udara dapat mempengaruhi kualitas udara (lihat bab 2 hal. 16) Udara di lingkungan yang alami mengandung ion-ion ini dalam jumlah banyak dan sebaliknya, lingkungan buatan manusia mengurangi jumlah kandungan ion di udara (lihat tabel 2.3). Artinya, secara alami, bangunan vernakular menghasilkan udara bersih lebih banyak. Untuk menghadapi masalah pengudaraan, bangunan modern menggunakan penyaring dan pembersih udara agar kualitas udara dalam bangunan menjadi lebih baik. Dengan bantuan

teknologi modern, polutan di udara dapat disaring, ion negatif dapat dihasilkan, suhu udara dapat dikendalikan namun dengan harga yang mahal yaitu kesehatan udara di luar bangunan.

Tabel 3.2. Perbandingan penyebab kenaikan kualitas udara pada arsitektur vernakular dan arsitektur modern.

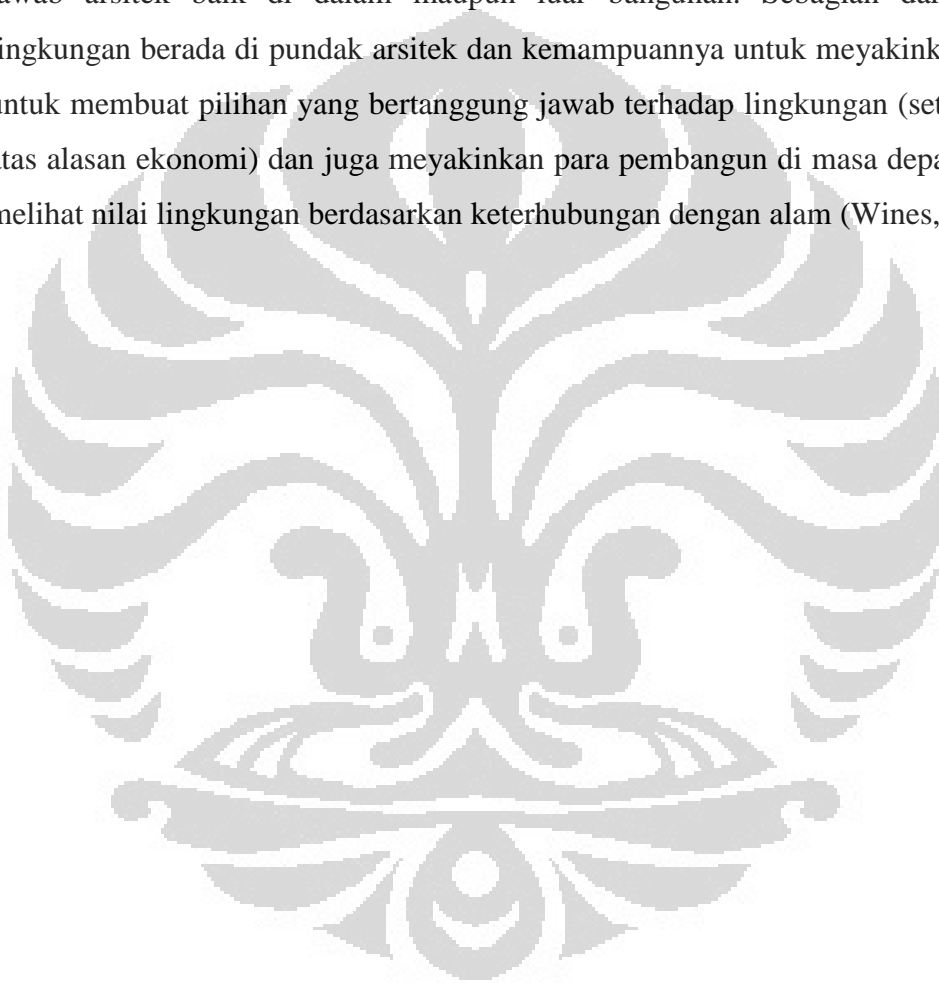
Penyebab kualitas udara meningkat	Arsitektur	
	Vernakular	Modern
Penyaring Udara	Udara dari luar disaring dengan cara sederhana memanfaatkan pepohonan dan air mancur	Selain memanfaatkan pepohonan juga menggunakan sistem dan mesin penyaring udara buatan
Ion di Udara	Tapak bangunan sering berdekatan dengan lokasi yang memiliki jumlah ion berlimpah	Sering terpaksa memilih tapak dengan kualitas udara rendah namun memiliki <i>ion generator</i>
Rancangan Pengudaraan	Pemilihan lokasi masuknya aliran udara mengurangi polutan yang masuk ke dalam bangunan	Ventilasi di lokasikan pada daerah dengan polusi terendah dan menggunakan HVAC untuk mengatur kondisi udara dalam bangunan
Material Bangunan	Penggunaan material alami tidak menghasilkan polutan dan membantu membersihkan udara	Selain menggunakan material alami juga menggunakan material buatan yang dapat membantu mengurangi polusi udara

Tabel 3.2 memperlihatkan bahwa hal yang dilakukan oleh arsitektur vernakular untuk meningkatkan kualitas udara dalam bangunan dapat dilakukan juga bahkan lebih baik oleh arsitektur modern meskipun, dapat menimbulkan polusi udara pada luar bangunan. Sebenarnya banyak sistem dan teknologi yang dapat digunakan arsitektur modern untuk menghasilkan pengudaraan yang baik di dalam maupun di luar bangunan (lihat lampiran 2). Tindakan – tindakan pencegahan polusi udara yang dihasilkan oleh bangunan sudah bukan pilihan lagi karena kini bangunan merupakan penghasil gas rumah kaca terbesar yaitu sekitar 40% dari total yang dihasilkan oleh manusia. Perbaikan udara yang terbaik sudah tentu dengan menjaga kelestarian tumbuhan di dunia sebagai penghasil oksigen di dunia. Binggeli (2003) menulis:

Universitas Indonesia

“You can choose what you eat and drink, but not what you breathe. You can’t see contaminated air (except smoke), and you may not be aware that the air you breathe could be the cause of health problems. When the HVAC system recirculates air, the building depends heavily on filtration to preserve air quality. You can filter particles, but not gases, and masks don’t work for vapors” (hal.121).

Pernyataan tersebut memberitahukan kepada kita betapa pentingnya sekaligus betapa tidak berdayanya kita dalam menghadapi udara. Meskipun tidak terlihat, perancangan kesehatan udara pada bangunan tetap menjadi tanggung jawab arsitek baik di dalam maupun luar bangunan. Sebagian dari moral lingkungan berada di pundak arsitek dan kemampuannya untuk meyakinkan klien untuk membuat pilihan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan (setidaknya atas alasan ekonomi) dan juga meyakinkan para pembangun di masa depan untuk melihat nilai lingkungan berdasarkan keterhubungan dengan alam (Wines, 2008).



BAB IV

SIMPULAN

Simpulan

Studi kasus yang dilakukan menunjukkan arsitektur modern mampu memberikan pengudaraan yang lebih sehat dan efektif bagi penghuni bangunan daripada arsitektur vernakular. Hal ini bukannya tanpa cacat, dalam menghasilkan polutan di dalam bangunan, studi kasus pada perpustakaan pusat Universitas Indonesia menunjukkan arsitektur modern menghasilkan polutan di dalam bangunan lebih banyak akibat penggunaan bahan kimia pada material dan perabot dalam bangunan. Akibatnya, dibutuhkan usaha lebih banyak dalam membersihkan udara di dalam bangunan seperti menambah jumlah ion negatif dan menyaring udara kotor. Peralatan yang digunakan ini menghasilkan CO₂ dalam melakukan kerjanya sehingga kesehatan udara di luar bangunan menjadi lebih buruk.

Dalam menjaga kesehatan lingkungan luar bangunan, arsitektur vernakular melakukannya lebih baik karena melepas lebih sedikit CO₂ ke alam bebas seperti yang diaplikasikan pada bangunan vernakular Alor dan Qatar. Namun tidak lebih baik secara mutlak dari arsitektur modern karena studi kasus menunjukkan bahwa sistem pengudaraan alami pada arsitektur vernakular yang telah dikembangkan oleh teknologi modern pada bangunan perpustakaan universitas coventry menghasilkan teknologi yang menuju pada teknologi layak. Kata “menuju” saya gunakan karena bangunan masih menghasilkan CO₂ ke alam bebas meskipun sudah lebih baik 80% dari bangunan mayoritas.

Mengenai masalah banyaknya bangunan modern yang menimbulkan masalah kesehatan baik pengunjung dan alam sekitarnya, hal ini lebih dikarenakan tuntutan masyarakat. Teori biophilia (lihat bab 2 halaman 19) mengungkapkan kedekatan manusia dengan alam namun keadaan tersebut ditekan seiring waktu dimana arsitektur modern ikut berperan dalam hal ini. Arsitektur modern tengah membenahi masalahnya dengan alam dan manusia, sebagai pemegang keputusan, perlu melakukan hal yang sama demi menciptakan lingkungan yang sehat bagi makhluk hidup di dunia.

Saran

Skripsi yang dilakukan masih memiliki kekurangan karena banyaknya ketebatasan pada penulis. Pembahasan yang dilakukan pun masih dalam batas kesehatan pengudaraan berdasarkan studi literatur dan penelitian sederhana. Untuk pembahasan lebih lanjut, *Sick Building Syndrom*, adalah salah satu materi yang dapat diteliti lebih mendalam.. Selain itu, karena arsitektur modern sedang membenahi masalahnya dengan alam dan manusia, efisiensi dan kesehatan udara di luar bangunan akibat adanya intervensi arsitektur merupakan salah satu hal yang dapat diteliti lebih mendalam lagi dimasa depan.



DAFTAR PUSTAKA

- Allen, Edward. (2005). *How buildings work - The natural order of architecture*. Oxford University Press: Oxford
- Alread, Jason.,& Leslie, Thomas. (2007). *Design - tech building science for architects*. Architectural Press: Oxford
- Bauer, Michael., Mosley, Peter., Schwarz, Michael. (2010). *Green building – Guide book for sustainable architecture*. Springer: Berlin
- Berge, Bjørn. (2001). *The ecology of building materials*. Architectural Press: Oxford
- Binggeli, Corky. (2003). *Building systems for interior designers*. John Wiley & Sons: New Jersey
- Cowan, Henry. J., & Peter, Smith F. (1998). *Dictionary of Architectural and Building Technology*. Routledge: New York
- Daniel, Stacy.L. Applications of Air Ionization for Control of VOCs and PMx
- Day, Christopher. (2002). *Spirit & place*. Architectural Press: Oxford
- Gallo, C. (1998). *Architecture: Comfort and energy*. Elsevier: Oxford
- Guy, Simon.,& Moore, Steven. (2005). *Sustainable architectures*. Spon Press: New York
- Hall, Fred.,& Greeno, Roger. (2007). *Building service handbook (4th ed)*. Butterworth-Heinemann: Oxford
- Hideo Nakane. (2003). *Stress – reducing effect of negative air ions research report*
- Jackie Craven. (n.d). What is “Green Architecture” and “Green Design?”. <http://architecture.about.com/od/greenconcepts/g/green.htm>. Diakses pada tanggal 17 April 2012 pukul. 23.24 WIB
- Kamus Besar Bahasa Indonesia digital (v1.1)
- Kennedy, Joseph. (2004). *Building without borders - Sustainable construction for the global village*. New Society Publishers: Canada
- Kobayashi, Kent.D., Kaufman, Andrew.J., Griffis, John., & McConnel, James. (2007). *Using houseplants to clean indoor air*. University of Hawai: Hawai

- Laza, Valeria., & Bolboaca, Sorana.D. (2008). The effect of negative air ionization exposure on ontogenetic development of chicken
- Map of University of Indonesia. <http://wikimapia.org/#lat=-6.3643254&lon=106.8183625&z=14&l=0&m=b&show=/926206/Universitas-Indonesia-University-of-Indonesia&search=ftui>. Diakses pada tanggal 9 Mei 2012 pukul. 4.33 WIB
- Particle. <http://dictionary.reference.com/browse/particle>. Diakses pada tanggal 29 Juni 2012 pukul. 17.36 WIB
- Pawar, D.Subhash.,& Meena, G.S., Jadhav, B. (2012). Air ion variation at poultry-farm, coastal, mountain, rural and urban sites in India
- Positive Ion. <http://dictionary.reference.com/browse/positive+ion>. Diakses pada tanggal 29 Juni 2012 pukul. 18.04 WIB
- Morales, Jose Martin Gomez Tagle.(2005). *Sustainable building design book*. SB05 Tokyo Student Session: Tokyo
- Oliver, Paul. (2006). *Built to meet needs cultural issues in vernacular architecture*. Architectural Press: Oxford
- Roaf, Sue., Fuentes, Manuel., & Thomas, Stephanie. (2007). *Ecohouse (3rd ed)*. Architectural Press: Oxford
- Samet, Jonathan M., Dominici, Francesca., Curriero, Frank C., Coursac, Ivan., & Zeger, Scott L. (2000). Fine particulate air pollution and mortality in 20 U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*.
- Sebestyen, Gyula. (2003). *New architecture and technology*. Architectural Press: Oxford
- Smith, Peter F. (2005). *Architecture in a climate of change- A guide to sustainable design*. Architectural Press: Oxford
- Szokolay, Steven. (2004). *Introduction to architectural science the basis of sustainable design*. Architectural Press: Oxford
- Santoso, Teguh Iman. (22 Mei 2012). Personal interview.
- The Gale Group, Inc.. (2008). Gale Encyclopedia of Medicine. <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/Serotonin>. Diakses pada tanggal 5 Juni 2012 pukul. 14.32 WIB

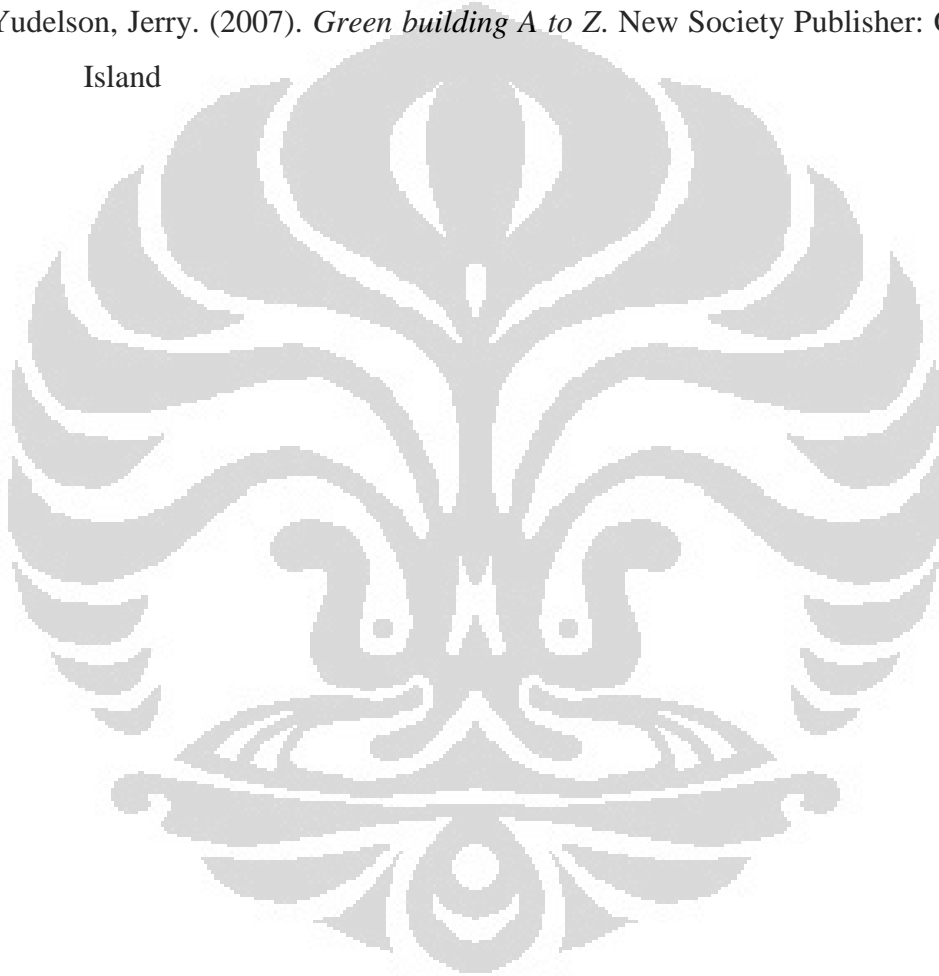
Tim Ekskursion Alor 2011 Departemen Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Indonesia.(2011). *Alor living celebration*. Ikatan Mahasiswa Arsitektur Universitas Indonesia: Depok

Tim kontraktor Perpustakaan Pusat Universitas Indonesia. (29 Maret 2010). Presentasi Perpustakaan Pusat Universitas Indonesia.

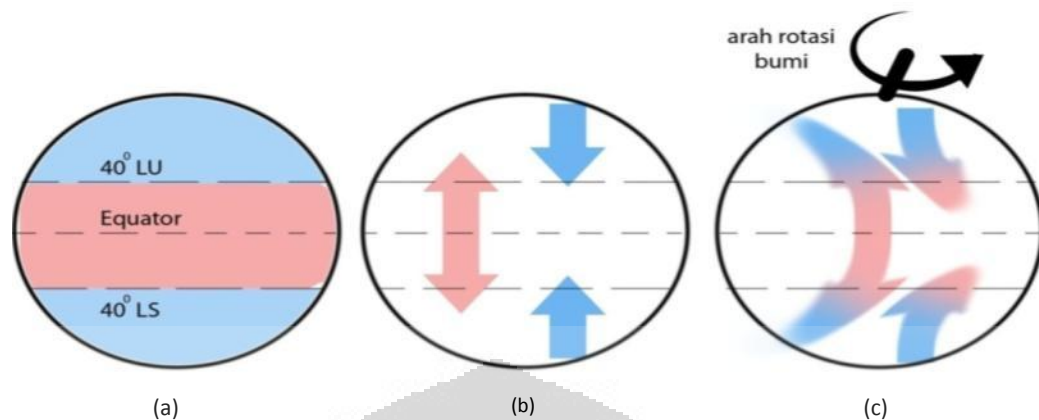
Wines, James. (2008). *Green architecture*. Taschen: Hong Kong

Whyte, W. (2001). *Cleanroom technology*. John Wiley & Sons Ltd: Chichester

Yudelson, Jerry. (2007). *Green building A to Z*. New Society Publisher: Gabriola Island



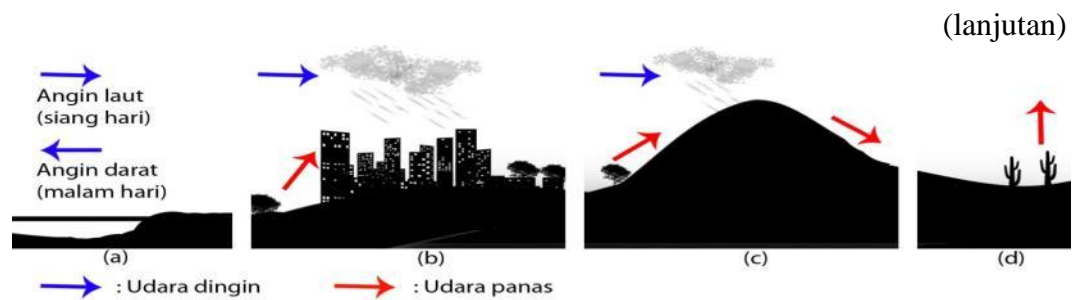
Lampiran 1. Pergerakan Udara di Alam



Gambar 1. Sirkulasi udara pada bumi dipengaruhi oleh pelepasan panas bumi dan rotasi bumi. (digambar ulang dari buku *How Building Works in Natural Order*)

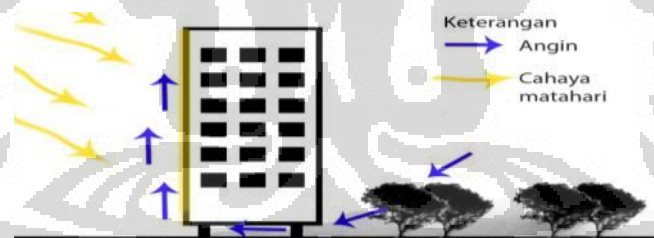
Sebagai sebuah planet yang dapat dihuni makhluk hidup, bumi memiliki sistem yang sangat baik dalam menjaga keseimbangannya. Dalam pengudaraan, bumi memanfaatkan pergerakan tubuh juga lingkungan sekitarnya untuk mengatur sirkulasi udara agar terus mengalir dengan stabil sepanjang tahun. Daerah antara equator dan garis lintang 40° merupakan bagian bumi yang menerima panas lebih banyak daripada melepasnya sedangkan daerah diatas garis lintang 40° mengalami hal yang sebaliknya (Gambar 1a). Kejadian pada Gambar 1a menyebabkan aliran angin dari equator kearah kutub dan sebaliknya yang menyebabkan pertukaran angin panas dari equator dengan angin dingin dari kutub (Gambar 1b). Rotasi bumi dan pertukaran panas yang terjadi membuat angin dari equator bergerak kearah Barat dan angin dari kutub bergerak kearah Timur (Gambar 1c) (Allen, 2005).

Bentuk permukaan bumi dirancang secara sempurna untuk mempertahankan siklus alami bumi. Hal ini dapat dilihat pada siklus hujan dan angin di daerah pesisir. Angin laut terjadi pada daerah dekat pantai atau lokasi lainnya yang berdekatan dengan air dalam skala besar. Saat siang permukaan daratan mengalami pemanasan yang menyebabkan udara panas naik yang menarik udara dingin dari laut oleh karena itu dinamakan angin laut, sedangkan pada malam hari air laut lebih hangat dari daratan yang menyebabkan proses sebaliknya dan dinamakan angin darat (Gambar 2a) Pada siklus hujan, daerah bukit membelokkan angin lembab dan hangat ke atas yang menyebabkan suhu udara turun dan menghasilkan hujan (Gambar 2c) (Allen, 2005).



Gambar 2. Aliran udara (berdasarkan bacaan *Introduction to architectural science the basis of sustainable design*. (digambar ulang dari buku *Introduction to architectural science the basis of sustainable design*)

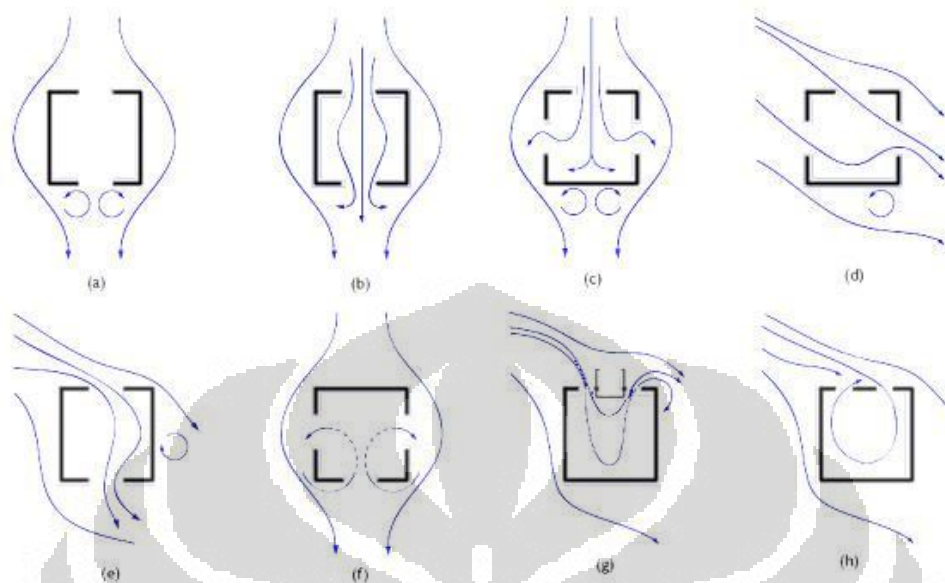
Saat angin turun dari bukit hujan jarang terjadi karena kandungan air di udara sudah habis (Gambar 2d). Semua proses tersebut terjadi secara alami tanpa adanya intervensi dari manusia. Berdirinya bangunan adalah salah satu contoh intervensi manusia terhadap alam. Salah satu akibatnya adalah fenomena pemanasan urban, dimana udara di perkotaan lebih panas hingga 10 Kelvin dari sekitarnya dan sering terjadi saat matahari terbenam serta tanpa angin. Permukaan bangunan banyak menyerap panas sedangkan polusi udara yang terjadi menghalau pelepasan panas ke udara. Naiknya udara panas ini memicu tingkat hujan tinggi di daerah perkotaan daripada daerah sekitarnya (Gambar 2b) (Szokolay, 2004).



Gambar 3. Secara mikro, bangunan yang mengalami pemanasan dapat menyebabkan dorongan udara ke atas dan jika bagian bawahnya pilotis maka angin dengan kecepatan cukup tinggi terjadi di bagian bawah bangunan. (telah diolah kembali dari buku *Introduction to architectural science the basis of sustainable design*)

Sebagaimana angin bekerja pada sistem pengudaraan bumi, sistem pengudaraan lingkungan pun mendistribusikan air dan panas ke seluruh lingkungan baik secara vertikal maupun horinzontal. Hal lain yang dibawa oleh angin adalah zat-zat polutan yang sebagian berbahaya bagi manusia (Szokolay, 2004).

Lampiran 2. Pergerakan Udara Sekitar Bangunan

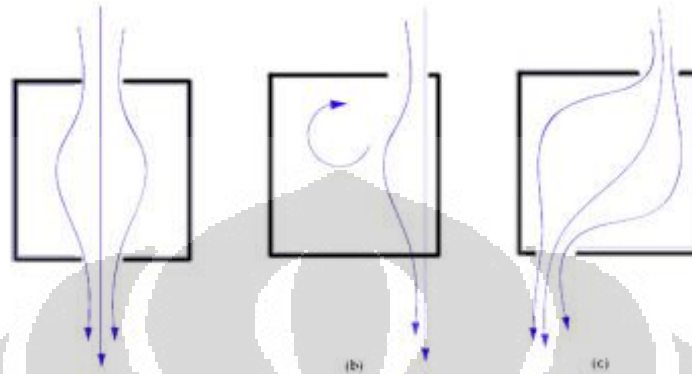


Gambar 1. Diagram aliran angin (sumber: *Design-Tech Building science for architects*)

Angin mendatangi bangunan dengan kecepatan tertentu dan tebal saat menabrak bagian yang solid. Setelah melalui bagian solid, akan tercipta putaran angin kecil yang menghasilkan tekanan negatif. Bagian belakang bangunan pun menghasilkan tekanan negatif, tapi tidak sebesar bagian samping (Gambar 4a). Tujuan dari peletakkan bukaan adalah untuk memanfaatkan sifat alami angin dalam menghasilkan tekanan negatif dan positif. Bukaan yang terletak dibagian depan juga belakang bangunan akan menghasilkan pertukaran udara dan membentuk aliran kecil yang berlawanan dengan arah angin utama. Menempatkan bukaan pada dinding samping akan menghasilkan tekanan negatif lebih besar pada bagian luar bangunan dan menarik udara ke dalam bangunan lebih efisien. (Gambar 4b, 4c). Angin yang menabrak bangunan dengan sudut miring bergerak lebih baik dengan tiga bukaan (Gambar 4d, 4e). Tapi jika angin datang dari sisi tanpa bukaan, maka seluruh bukaan mengalami tekanan negatif dan bukanlah ventilasi yang baik (Gambar 4f). Saat hanya ada satu bagian bangunan yang dapat dibuka, jendela diusahakan dipisah sejauh mungkin dan bangunan diletakkan miring berdasarkan sudut angin. Sebuah rintangan di samping jendela dapat

(lanjutan)

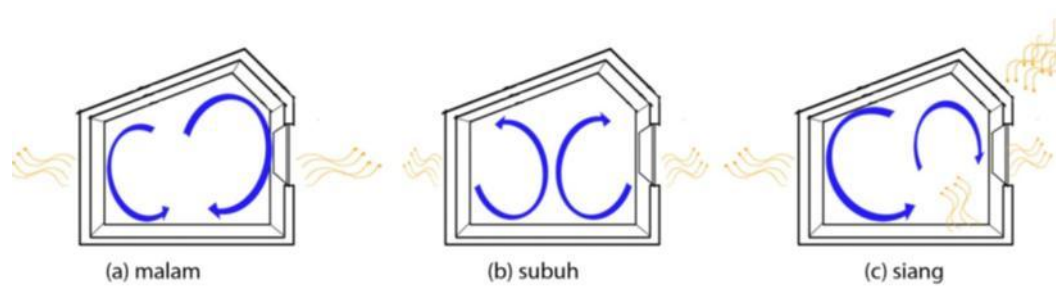
meningkatkan tekanan positif dan negatif pada pergerakan udara (Gambar 4g). Sirkulasi udara pada situasi ini perlu ditahan agar tidak kembali ke arah bukaan kerna dapat mengurangi udara yang diterima (Gambar 4h) (Alread, 2007).



Gambar 2. Diagram pancaran angin (sumber: *Design-Tech Building science for architects*)

Sebagai hukum dasar ukuran jendela untuk masuk dan keluar harus sesuai untuk memaksimalkan sirkulasi udara. Untuk mendapatkan pergerakan udara yang lebih rendah, namun sirkulasi yang lebih baik maka kurangilah ukuran bukaan – namun jika rasionya lebih besar dari 60–40% maka akan mengurangi pergerakan udara secara keseluruhan dan menciptakan *air jet*, sebuah percepatan aliran angin dengan arah tertentu – bukaan pada bagian tengah menghasilkan permukaan yang bebas dari *jet* (Gambar 5a). Bukaan sepanjang dinding atau langit-langit menyebabkan *air jet* bertahan pada suatu permukaan dan membuang panas dari permukaan lebih cepat daripada *open jet* yang merupakan cara berharga mendinginkan permukaan yang memantulkan cahaya (Gambar 5b). Secara keseluruhan, aliran udara dapat dimaksimalkan dengan memperbesar bukaan dan penempatan yang baik yang menghasilkan pendinginan permukaan dan pergantian udara dalam bangunan (Gambar 5c) (Alread, 2007).

Lampiran 3. Pergerakan Udara Dalam Bangunan



Gambar 6. Aliran udara dan panas pada bangunan berventilasi alami saat musim dingin (digambar ulang dari buku *How Buildings Work - The Natural Order of*

Saat tengah malam di musim dingin, temperatur luar bangunan lebih rendah dari permukaan dan bagian dalam bangunan terutama kaca jendela, lebih dingin dari suhu udara dalam bangunan. Saat udara dalam bangunan mendekati permukaan ini, udara menjadi bertambah dingin dan padat. Keadaan yang sama terjadi pada dinding lainnya, udara kehilangan panasnya saat mengalir dan terkumpul sebagai lapisan dingin pada lantai. Udara hangat yang naik untuk menggantikannya pun mengalami siklus yang sama. Dalam keadaan ini, udara pada langit-langit lebih hangat dari udara dekat lantai (Gambar 6a). Saat fajar, udara hangat yang tersimpan pada bangunan sudah jauh berkurang dan temperatur dalam bangunan perlahan mendekati suhu luar bangunan (Gambar 6b). Siang hari, suhu luar bangunan perlahan naik, suhu bagian bangunan yang menghadap Timur dan Selatan meningkat akibat radiasi matahari. Panas pada permukaan bangunan ini secara konveksi, mengalir ke udara luar bangunan yang dingin, hal ini membantu memperlambat konduksi panas dari dalam ke luar melalui dinding dan atap. Keadaan ini berlanjut seharian dengan hilangnya panas dalam ruangan secara perlahan. Cahaya matahari yang masuk melalui jendela menghangatkan bagian dalam bangunan. Memanasnya permukaan ruangan ikut menghangatkan udara yang kemudian naik dan digantikan oleh udara dingin yang juga akan mengalami pemanasan. Pola baru konveksi pun terjadi, dengan aliran udara yang naik akibat terkena panas matahari dan aliran udara yang turun karena kehilangan panasnya melalui permukaan bangunan, terutama pada bagian yang tidak terkena cahaya matahari dan kaca jendela yang masih dingin. Suhu udara ruangan naik dan puncaknya saat tengah hari yang kemudian mengalami penurunan saat matahari tenggelam (Gambar 6c) (Allen, 2005).