BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Pada bab ini, akan dipaparkan teori tentang ventilasi alamiah, pergantian udara per-jam, prinsip pergerakan udara, strategi pengaturan pergerakan angin, penataan kawasan, serta penelitian lain tentang ventilasi alamiah dan pergerakan angin dalam kawasan/kota yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian ini.

2.2. Ventilasi Alamiah

Ventilasi alamiah adalah proses pergantian udara ruangan oleh udara segar dari luar ruangan tanpa melibatkan peralatan mekanis.[5] Ventilasi alamiah bertujuan menyediakan udara segar ke dalam ruangan demi kesehatan penghuninya karena dapat mengurangi kadar polusi dalam udara, membantu menciptakan kenyamanan termal bagi penghuni, membantu pendinginan bangunan secara pasif, dan menghemat energi yang terpakai pada bangunan.

2.3. Mekanisme Terjadinya Ventilasi Alamiah

Pada ventilasi alamiah, aliran udara terjadi karena adanya perbedaan tekanan antara luar ruangan dan dalam ruangan. Perbedaan tekanan ini juga dipengaruhi oleh angin dan perbedaan suhu luar dan dalam. Tekanan angin pada permukaan bangunan dipengaruhi oleh arah angin, kecepatan angin dan bentuk bangunan (karakteristik bangunan).[6]

---

[5] Satwiko, Fisika Bangunan I, hal.1
[6] Mediastika, *"Ventilasi Alamiah pada Gedung Don Bosko UAJY"*, hal.8

2.4. Pergantian Udara Per-jam (ACH)

Pergantian udara per-jam (ACH, *Air Change per Hour*) adalah jumlah pergantian seluruh udara dalam ruangan dengan udara segar dari luar setiap jam-nya.[7]

Bangunan di negara tropis lembab tanpa sistem pengkondisian udara, sangat tergantung pada jendela-jendela yang besar yang akan menjadi media pergantian udara pengap di dalam bangunan dengan udara yang lebih segar dari luar bangunan. Proses pergantian ini sangat tergantung pada beberapa aspek, yang masing- masing dapat dibedakan menjadi: aspek pada bangunan itu sendiri dan aspek di luar bangunan. Aspek pada bangunan meliputi, penempatan jendela (baik secara vertikal maupun horisontal), dimensi jendela dan tipe (model) jendela yang dipilih. Sedangkan aspek luar bangunan meliputi: arah dan kecepatan angin serta kerapatan dan ketinggian bangunan sekitar. Selain faktor-faktor tersebut ada beberapa faktor lain yang dapat mendukung lancarnya proses ventilasi tersebut, diantaranya adalah: pemilihan bentuk atap, sebab ada bentuk-bentuk atap tertentu yang dapat meningkatkan kecepatan angin. Keefektifan tingkat penghawaan dalam suatu bangunan ditentukan oleh *ventilation flow rates* (rate ventilasi) yang dihitung sebagai jumlah udara per-m^3 yang dapat dialirkan ke dalam bangunan atau ruangan setiap jamnya.

Menurut Givoni (1976), Lechner (1991) dan Moore (1993), ada beberapa faktor yang akan berpengaruh terhadap proses pertukaran udara secara alamiah yang terjadi pada suatu ruangan atau bangunan, Faktor-faktor tersebut adalah arah

[7] Satwiko, Fisika Bangunan 1, hal.4

dan kecepatan angin di luar bangunan, suhu, dan kelembaban udara di dalam dan di luar bangunan, spesifikasi lubang ventilasi (posisi *inlet* dan *outlet*, dimensi dan bentuk serta *feature* penunjang). Faktor-faktor ini saling berkaitan dan mendukung dalam menciptakan pertukaran udara yang baik pada suatu ruangan atau bangunan. Moore menggambarkan bahwa posisi yang baik bagi sebuah lubang ventilasi yang berfungsi sebagai *inlet* (tempat memasukkan udara) adalah yang sama tingginya dengan penghuni yang sedang beraktifitas dalam ruang tersebut. Dan untuk memudahkan udara yang telah mengandung CO_2 segera keluar dari ruangan maka posisi *outlet* (tempat mengaluarkan udara) sebaiknya dibuat lebih tinggi. [8]

Adapun rate ACH ideal bagi suatu ruang tergantung pada tujuan yang hendak dicapai. Menurut EnREI *(Energy Related Environmental Issues)*, untuk tujuan kesehatan dan kenyamanan penghuni diperlukan nilai pertukaran udara sebesar 0,5-5 ACH.[9]

Tabel 2.1. Standar kebutuhan udara untuk tujuan berbeda
(Sumber: EnREI (1991) dalam Mediastika, hal 5)

Tujuan	Standard kebutuhan (ACH)	Standard kebutuhan (liter/detik m^2)
Kesehatan	0.5-1	0.4-0.8
Kenyamanan	1-5	0.8-4

[8] Mediastika, *"Ventilasi Alamiah pada Gedung Don Bosko UAJY"*, hal.2
[9] EnREI Report (1995) dalam Mediastika, hal.5

Untuk menghitung pertukaran udara per jam (ACH) pada ruangan/bangunan yaitu dengan menggunakan rumus ini:

ACH = (Q/V) x 3600 .....(1)

Dimana, Q adalah tingkat penghawaan alami (m^3/s), dan

V adalah volume ruangan (m^3)

Tingkat penghawaan alami (Q) sendiri diperoleh dengan menggunakan rumus:

Q = 0.025 x A x v ……(2)

Dimana, A adalah luas bukaan (m^2)

v adalah kecepatan angin pada bukaan (m/s), dan

0.025 adalah faktor pengali

2.5. Pengaruh Ventilasi pada Kesehatan

Berada di daerah beriklim tropis dengan suhu dan kelembaban rata-rata harian tinggi serta kecepatan angin rendah menjadi alasan pentingnya kinerja yang baik pada sistem ventilasi bangunan. Kurangnya ventilasi akan menyebabkan naiknya suhu dan kelembaban udara di dalam ruangan. Kelembaban merupakan media yang menguntungkan untuk bakteri-bakteri patogen (bakteri-bakteri penyebab penyakit). Jumlah bakteri di udara akan bertambah jika penghuni menderita penyakit seperti TBC, influenza, ISPA dll.[(10)]

(10) www.journal.unair.ac.id

2.6. Pengaruh Kecepatan Angin pada Kenyamanan Termal

Kecepatan angin merupakan salah satu unsur dalam ventilasi yang mempengaruhi dan sekaligus dapat dimanfaatkan untuk menciptakan kenyamanan termal penghuni. Penyejukan dengan memanfaatkan aliran angin ini disebut dengan penyejukan konvektif. Bila benda hangat dilewati angin yang lebih sejuk, maka akan terjadi perpindahan panas dari benda tersebut ke udara. Proses yang berlangsung terus menerus akan menyebabkan benda tersebut sejuk karena panasnya (kalornya) diangkut oleh angin tadi.[(11)]

Tabel 2.2. Klasifikasi kecepatan angin
(Sumber : www.windows.ucar.edu/)

Skala Beaufort	Kecepatan angin (km/hr)	Penjelasan Umum
0	<1	Tenang
1	1-5	Udara lemah
2	6-11	Sedikit hembusan
3	12-19	Angin sepoi-sepoi
4	20-28	Angin sedang
5	29-38	Angin Kuat
6	39-49	Angin kencang
7	50-61	Angin puyuh
8	62-74	Angin puyuh kuat
9	75-88	Angin puyuh sangat kuat
10	89-102	Topan
11	103-117	Topan badai
12-17	>117	Topan badai sangat hebat

Tabel 2.3. Efek kecepatan angin pada manusia
(Sumber:http://squ1.org/)

Deskripsi	m/s	km/h
Diam	0.0	0.0
Tak terasa	0.1	0.4
Sedikit terasa	0.3	1.0
Sepoi-sepoi tenang	0.5	1.8
Sepoi-sepoi ringan	0.7	2.5
Rambut dan kertas bergerak	1.0	4.0
Angin berhembus agak kencang	1.4	5.0
Berhembus tak nyaman	1.7	6.0
Berhembus mengganggu	2.0+	6.5+

(11) Satwiko, Fisika Bangunan I, hal.6

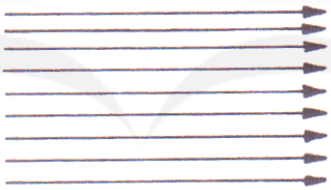
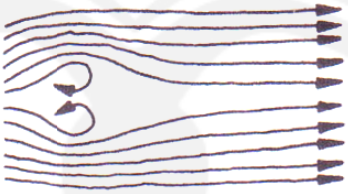
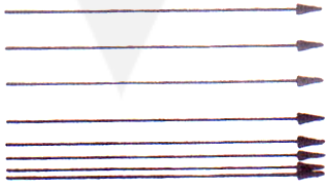
2.7. Perilaku Adaptif

Yang dimaksud dengan perilaku adaptif disini ialah kegiatan yang dilakukan oleh penghuni untuk mengatasi kondisi termal yang dirasa tidak nyaman ketika berada di dalam bangunan di daerah beriklim tropis lembab. Kegiatan adaptif tersebut dapat berupa pengontrolan kondisi lingkungan seperti menyalakan kipas angin, membuka jendela, maupun pengontrolan personal dengan cara menambah frekuensi minum, ganti pakaian, dan menambah frekuensi mandi.

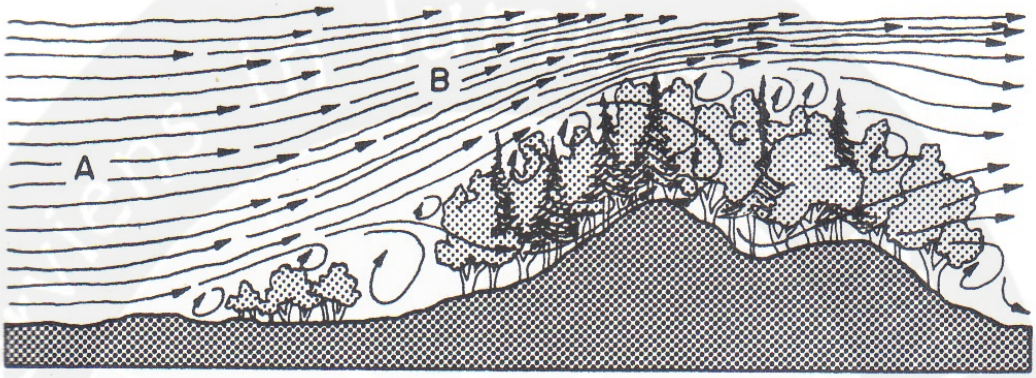
2.8. Prinsip Pergerakan Udara

Terdapat tiga kategori pada pola pergerakan udara yaitu :

Tabel 2.4. Kategori pola pergerakan

No	Nama pola	Ilustrasi	Keterangan
1	Laminar		Arus angin mengalir relatif sejajar satu sama lain dan dapat terprediksi karena turbulensi internalnya rendah
2	Turbulen		Pada awalnya merupakan pola laminar yang mengalami perubahan pola menjadi acak dan tidak terprediksi akibat adanya elemen eksternal
3	Terpisah		Pergesekan antar arus angin dapat mengurangi kecepatan angin pada arus angin tertentu dalam kesejajaran yang tetap sama dan tanpa turbulensi internal

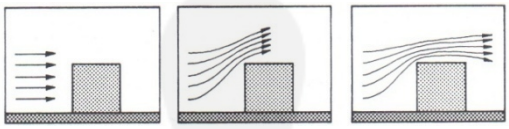
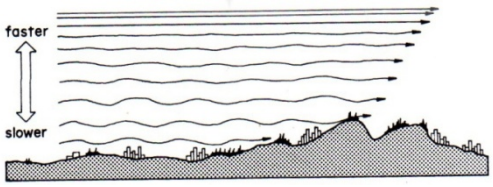
Pergerakan udara dapat berubah dari kategori yang satu ke yang lain sepanjang waktu dan pada jarak tertentu. Sebagai contoh pergerakan udara laminar dapat menjadi turbulen apabila tingkat kekasaran topografis semakin besar seperti pada gambar berikut.



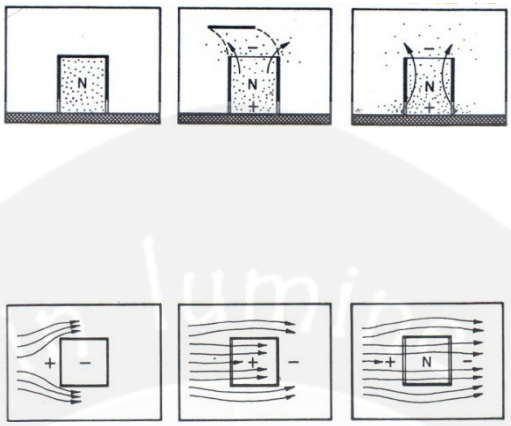
Gambar 2.1. Perubahan pola pergerakan udara dari (a) laminar ke (b)terpisah ke (c) turbulen.
(Sumber: Controlling Air Movement, hal.43)

Udara mengalir dari satu lokasi menuju lokasi lain. Faktor kelembaman, gesekan, dan perbedaan tekanan udara mempengaruhi pergerakan atau aliran udara.

Tabel 2.5. Faktor yang mempengaruhi pergerakan atau aliran udara

No	Nama	Ilustrasi	Keterangan
1	Kelembaman *(inertia)*		Udara yang bergerak memiliki kelembaman: sekali udara bergerak ke suatu arah, udara akan cenderung tetap pada arah yang sama sampai arahnya diubah dari garis awalnya.
2	Gesekan *(friction)*		Udara akan mengalami gesekan ketika bergerak di sepanjang tanah, air, dan bangunan.

Tabel 2.5. lanjutan

3	Perbedaan *(differential)*		Gambar di samping menjelaskan bahwa udara mengalir dari area dengan gaya apung positif menuju gaya apung negatif dan area dengan tekanan udara positif menuju ke tekanan udara negatif. Gaya apung dan tekanan udara dapat bekerja secara terpisah atau bersama-sama untuk menimbulkan perbedaan.

2.9. Ruang Terbuka

Adalah ruang yang memiliki fungsi, sifat atau ciri-ciri sebagai berikut:

a. Dapat berupa ruang terbuka lingkungan yang sifatnya umum, dapat dimanfaatkan dan dipergunakan oleh setiap orang (warga), maupun ruang terbuka antar bangunan yang terbentuk oleh massa bangunan yang dapat bersifat umum ataupun pribadi sesuai dengan fungsi bangunannya.

b. Dapat berbentuk memanjang (koridor) yang pada umumnya hanya mempunyai batas pada sisi-sisinya misalkan jalan dan sungai. Selain itu dapat berbentuk membulat yang pada umumnya memiliki batas di sekelilingnya misalkan ruang area lapangan olahraga dan rekreasi.

c. Memberi kesempatan untuk bermacam-macam kegiatan (multifungsi)

d. Berfungsi secara sosial dan ekonomi yaitu dapat digunakan sebagai tempat bermain, olahraga, komunikasi., ruang untuk kegiatan produksi dan komersial.
e. Berfungsi untuk mendukung aspek kesehatan, kesejahteraan, dan kenyamanan yaitu dapat mempertahankan dan memperbaiki kualitas udara.

2.10. Lubang Ventilasi

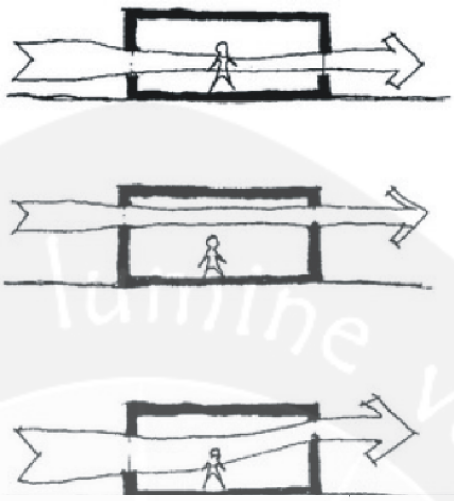
Agar performa sistem ventilasi alamiah pada bangunan mempunyai kualitas yang baik maka, diperlukan suatu desain lubang ventilasi tertentu. Berikut adalah aspek-aspek penting untuk mendesain lubang ventilasi:

a. Orientasi lubang ventilasi

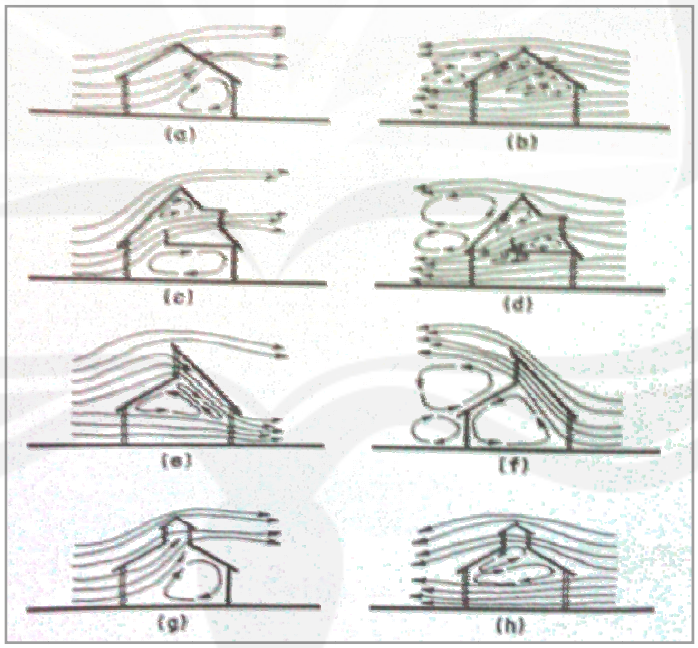
Lubang ventilasi sebaiknya ditempatkan/diorientasikan untuk menghadap arah dimana arah angin utama menuju bangunan.

b. Posisi lubang ventilasi

Lubang ventilasi yang berfungsi untuk memasukkan udara *(inlet)* seyogyanya ditempatkan dengan ketinggian manusia beraktifitas. Sementara lubang ventilasi yang berfungsi mengeluarkan udara *(outlet)* sebaiknya diletakkan sedikit lebih tinggi (di atas ketinggian aktivitas manusia) agar udara panas dapat dikeluarkan dengan mudah tanpa tercampur lagi dengan udara segar yang masuk melalui *inlet.* Ketinggian aktivitas manusia di dalam ruangan adalah lebih kurang 60-80 cm (aktivitas duduk) dan 100-150 cm (aktivitas berdiri)



Gambar 2.2.
Posisi *inlet* dan *outlet* berpengaruh terhadap arah angin di dalam ruangan/bangunan
(Sumber: Mediastika, hal.5)

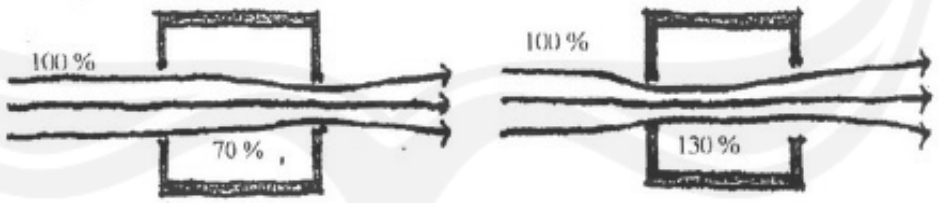


Gambar 2.3. Atap monitor
(Sumber: Controlling Air Movement, hal.43)

Atap dengan bukaan atau yang disebut atap monitor dapat berfungsi sebagai *inlet* dan *outlet*, yang dapat mendukung pergerakan dan pertukaran udara dalam ruangan.

c. Dimensi lubang ventilasi

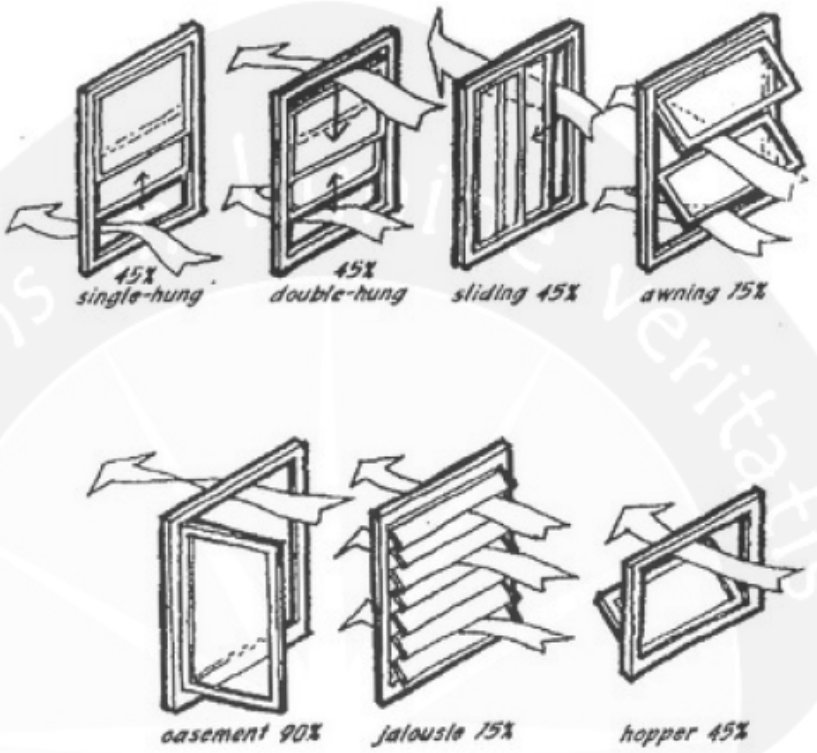
Semakin besar ukuran lubang ventilasi dan semakin banyak jumlahnya, maka semakin besar tingkat ventilasi yang terjadi dalam ruang atau bangunan tersebut. Rasio dimensi antara *inlet* dan *outlet* akan sangat berpengaruh dalam proses ventilasi. Luas bukaan inlet yang baik yaitu sekitar 20% dari luas lantai bangunan.[12] Untuk mencapai secara umum dimensi *inlet* dan *outlet* yang baik memiliki luas yang sama sehingga total luas bukaan adalah 40% dari luas lantai. Namun apabila tidak memungkinkan menempatkan *inlet* dan *outlet* dengan dimensi yang sama, maka lubang *outlet* lah yang memiliki dimensi lebih kecil. Dengan perbedaan dimensi ini, kecepatan angin pada *inlet* dapat lebih tinggi daripada kecepatan angin didalam ruang/bangunan dan kecepatan angin tersebut menurun ketika angin mencapai tengah dan *outlet*.



Gambar 2.4.
Perbedaan dimensi *inlet* dan *outlet* mempengaruhi kecepatan angin pada bangunan
(Sumber: Mediastika, hal.11)

[12] Tantasavasdi, *Natural Ventilation Design for House in Thailand*

d. Tipe lubang ventilasi



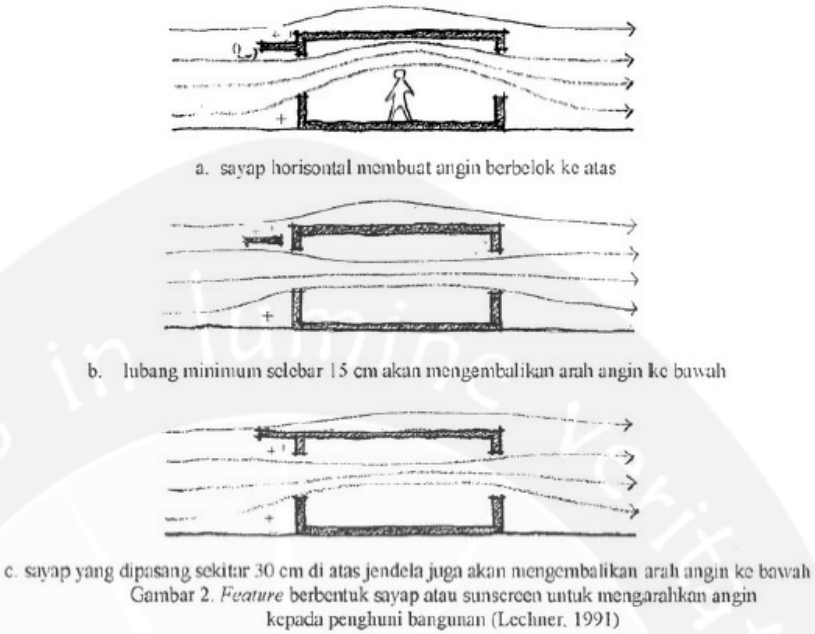
Gambar 2.5. Tipe jendela dan prosentase angin mengalir melaluinya
(Sumber: Mediastika, hal.10)

Tipe jendela yang baik adalah yang mampu mengalirkan udara dengan prosentase terbesar yaitu tipe *casement* dengan nilai prosentase 90%. [13]

e. Fitur lubang ventilasi

Pada kondisi kecepatan angin dan arah angin terbatas, sebuah lubang ventilasi bisa dilengkapi dengan fitur-fitur tambahan untuk mengarahkan dan menambah laju angin sebelum masuk ke dalam lubang ventilasi.

[13] Mediastika, *"Ventilasi Alamiah pada Gedung Don Bosko UAJY"*, hal.10



a. sayap horisontal membuat angin berbelok ke atas

b. lubang minimum selebar 15 cm akan mengembalikan arah angin ke bawah

c. sayap yang dipasang sekitar 30 cm di atas jendela juga akan mengembalikan arah angin ke bawah

Gambar 2. *Feature* berbentuk sayap atau sunscreen untuk mengarahkan angin kepada penghuni bangunan (Lechner, 1991)

Gambar 2.6. Fitur sayap horizontal di atas bukaan
(Sumber: Mediastika, hal.3)

Sayap horizontal merupakan fitur pada inlet yang dipasang secara horizontal untuk mengarahkan angin dari luar ke dalam bangunan.

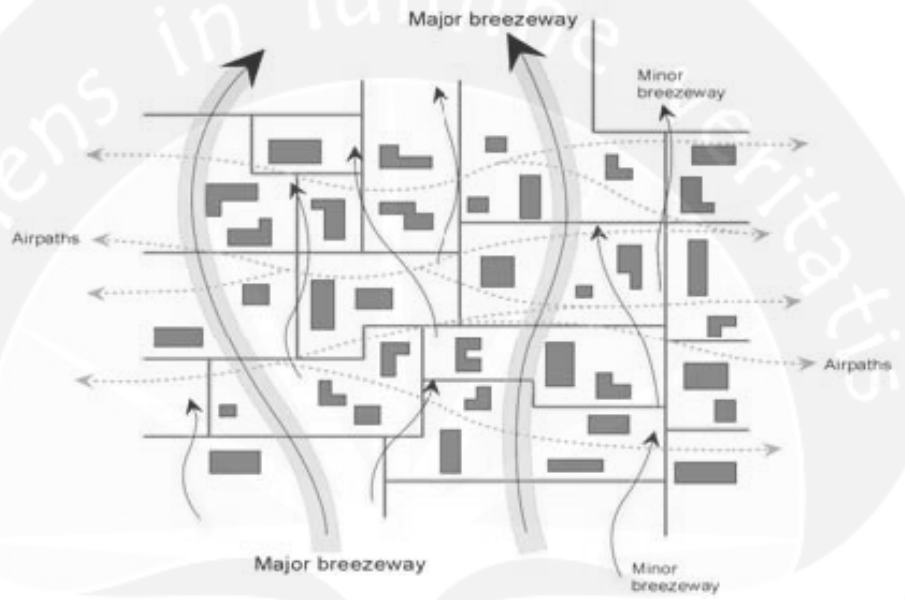
2.11. Penelitian Lain Tentang Ventilasi Alamiah

Berikut ini adalah sejumlah penelitian lain yang membahas tentang pergerakan angin dan ventilasi alamiah. Pada penelitian-penelitian tersebut juga membahas strategi-strategi penataan pergerakan angin pada skala kawasan dan bangunan yang akan diterapkan dalam penelitian ini.

1. **Judul: Air Ventilation Assessment for High Density City - An Experience from Hong Kong.**

   Pada penelitian ini memuat *guideline* untuk mengatur pergerakan udara agar dapat menjangkau area di dalam kawasan/kota yaitu dengan:

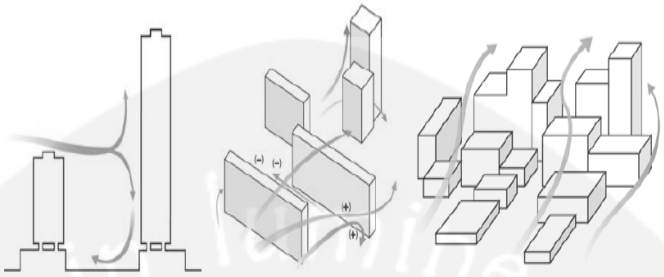
   a. Menciptakan jalur angin



Gambar 2.7. Jalur angin
(Sumber: http://www.inive.org/)

Adalah penting bagi kota yang padat bangunan dan beriklim panas-lembab untuk mendapatkan lebih banyak angin yang dapat menembus daerah/distrik kota. Jalur angin dapat berupa jalan, ruang terbuka, dan koridor antar bangunan berlantai rendah. Halangan pada jalur angin ini harus dihindari agar angin dapat bergerak menembus area secara lancar.

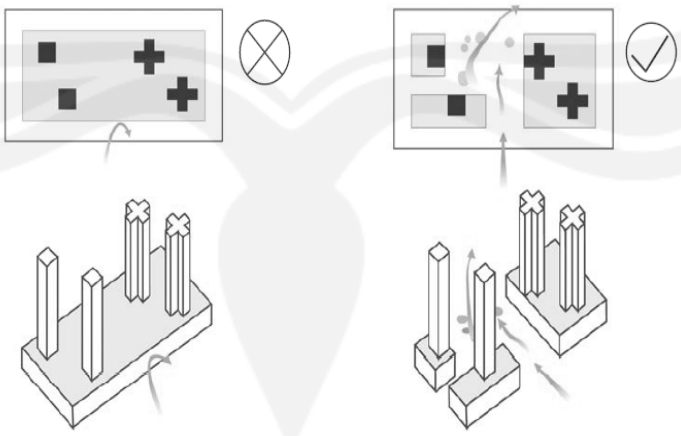
b. Pengaturan ketinggian bangunan



Gambar 2.8. Pengaturan ketinggian bangunan
(Sumber: http://www.inive.org/)

Variasi ketinggian bangunan sedapat mungkin mempertimbangkan prinsip semakin mendekati arah datangnya angin, ketinggian bangunan semakin rendah. Namun jika hal tersebut tidak mungkin, adanya variasi ketinggian bangunan tentu lebih baik daripada ketinggian bangunan yang seragam.

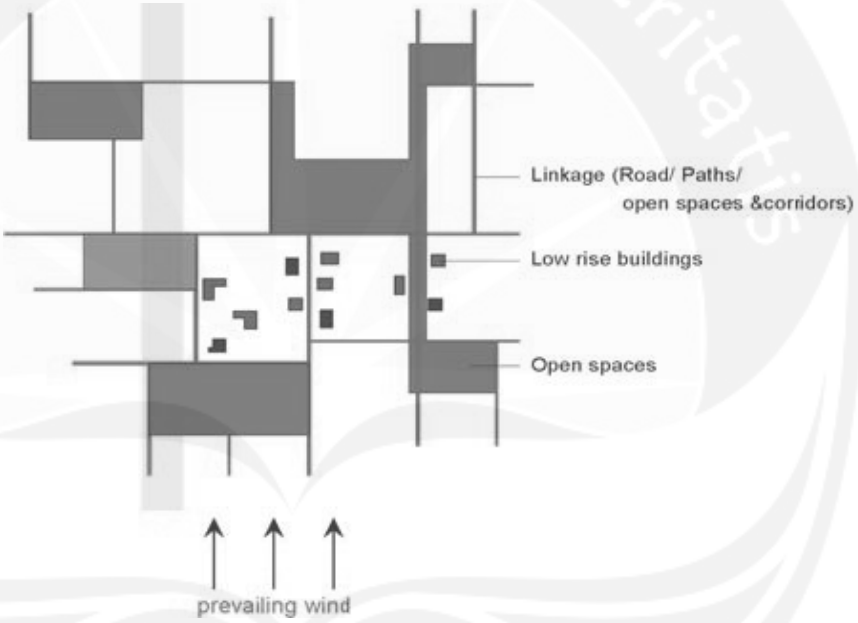
c. Menciptakan area non-bangunan



Gambar 2.9. Area non-bangunan
(Sumber: http://www.inive.org/)

Lahan yang luas dengan pembangunan yang padat adalah penyebab utama terjadinya hambatan pergerakan udara. Rencana pembangunan sebaiknya diorientasikan pada pemaksimalan penetrasi udara dengan menata sisi bangunan yang terpanjang sejajar dengan arah angin serta memunculkan area non-bangunan.

d. Menghubungkan antar ruang terbuka



Gambar 2.10.
Menghubungkan antar ruang terbuka
(Sumber: http://www.inive.org/)

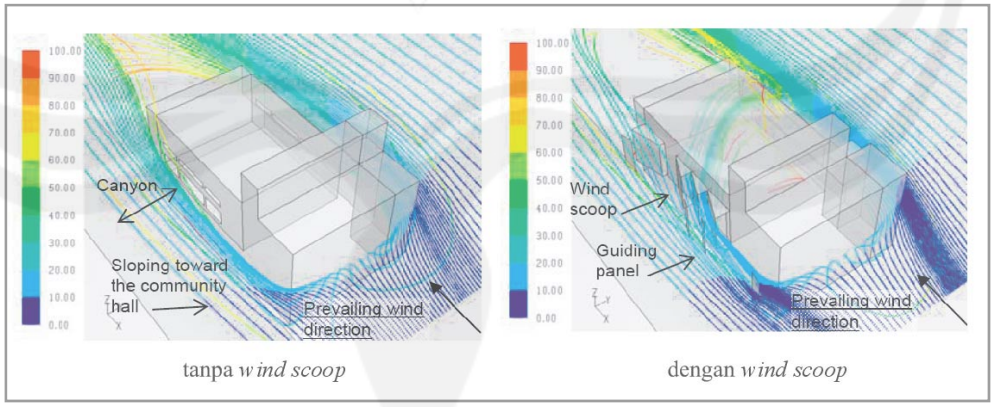
Apabila dimungkinkan, ruang terbuka dihubungkan dan ditata lurus dengan suatu cara untuk membentuk jalur angin / koridor ventilasi. Bangunan di sepanjang jalur angin/ koridor ventilasi sebaiknya berlantai rendah.

2. **Judul:** ***Ventilation Potensial:Examining the Effects of Growing Densification in the Tropics.***

Penelitian ini dipicu oleh fenomena semakin padatnya kota Dhaka yang berakibat pada rendahnya aliran udara di kota. Rendahnya aliran udara pada suatu area yang padat bangunan dapat meningkatkan suhu udara. Rekomendasi yang dihasilkan dalam penelitian tersebut ialah penambahan ruang terbuka dapat meringankan stagnasi suhu udara dan aliran angin karena dapat menarik angin untuk keluar dari area yang padat.

3. **Judul:** ***Building Innovations From Computational Fluid Dynamics***

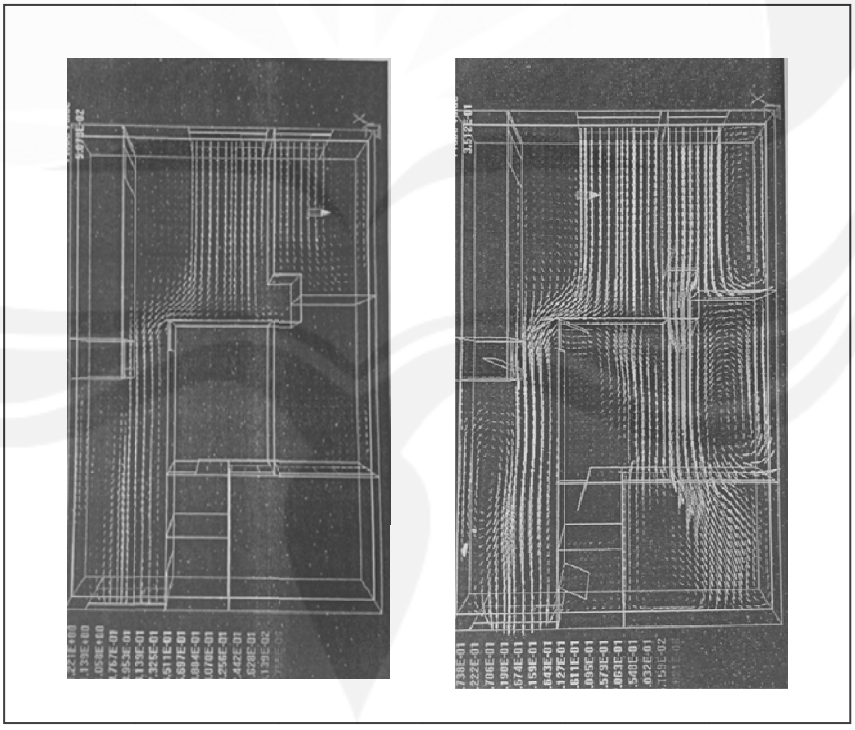
Penelitian ini membahas tentang pengujian fitur pada lubang ventilasi yaitu *wind scoop*. Pada gambar nampak bahwa *wind scoop* berperan sebagai pembelok *prevailing wind* sehingga masuk ke ruang dalam bangunan.



Gambar 2.11.
Perbedaan pola aliran angin pada ruangan dengan dan tanpa *wind scoop* pada inlet
(Sumber: http://www.iawe.org/)

4. Judul: *Building Innovations From Computational Fluid Dynamics*

Hasil dalam penelitan ini menyatakan bahwa sekat dan bukaan internal mempunyai pengaruh pada pola dan kecepatan angin di dalam ruangan. Sekat dapat mengarahkan angin maupun menghalangi angin. Bukaan internal dapat memungkinkan angin untuk masuk dari suatu ruangan ke ruangan lainnya atau justru membelokkan arah aliran angin. Melalui pengaturan sekat dan bukaan internal secara tepat maka kecepatan dan arah aliran angin di dalam ruangan dapat sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 2.12
Simulasi flat 4 dengan pintu internal tertutup (kiri) dan terbuka (kanan)
(Sumber: International Journal on Architecture Science, 2001,hal.42-43)