

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

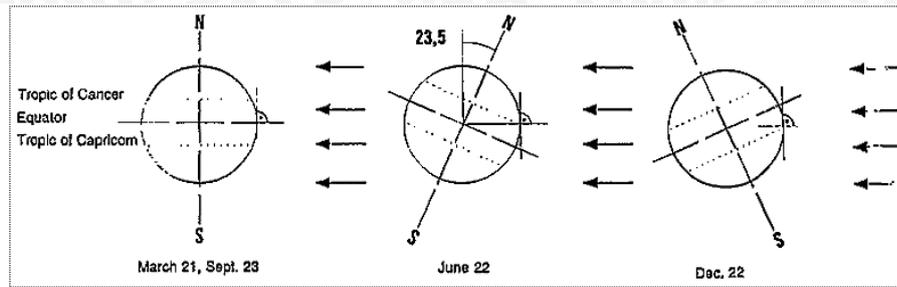
#### 2.1 Arsitektur Tanggap Iklim pada Area Iklim Tropis Lembab

Menurut Ossen et.al. (2008), umumnya zona tropis didefinisikan sebagai kawasan darat dan laut yang terletak di antara 23,50 lintang utara dan 23,50 lintang selatan. Wilayah ini menempati sekitar 40% dari permukaan bumi dan mempunyai daerah dengan kondisi iklim panas dan lembab sekitar 90%, baik secara tetap maupun musiman. Sisanya adalah daerah padang pasir yang ditandai sebagai iklim panas dan kering.

Kondisi iklim tropis memerlukan syarat-syarat khusus terkait perancangan bangunan dan lingkungan binaan. Oleh karena itu, maka perlu adanya fokus terhadap kajian spesifik seperti teori-teori arsitektur, komposisi, bentuk, fungsi bangunan, citra dan nilai-nilai estetika bangunan yang dikaitkan dengan konsep bangunan tropis.

Pemahaman terhadap kualitas lingkungan terutama kondisi udara sebagai aspek pemenuhan kualitas faktor kenyamanan dalam ruang sangat terkait dengan faktor iklim makro maupun mikro dalam skala urban. Menurut Satwiko (2008), karakteristik iklim tropis lembab seperti di Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Tidak ada perbedaan spesifik suhu yang jelas antara musim kering (kemarau) dan basah (hujan) secara periodik. Namun perlu pertimbangan yang mendalam terkait kondisi penghawaan gedung sepanjang tahunnya.
2. Suhu udara relatif tinggi dengan transisi suhu rerata pada siang – malam hari relatif kecil yaitu pada rentang 24 - 30°C. Di daerah pegunungan dapat jauh lebih rendah dari angka tersebut.
3. Kecepatan angin rendah namun pada siang hari relatif kuat yaitu pada angka 3.05 sampai 5,25 m/s tertinggi pada bulan Juni.
4. Kelembaban udara tinggi berkisar 60 – 95 % yang ditandai dengan kondisi kulit terasa lengket dan menguap sehingga menimbulkan rasa tidak nyaman. Kelembaban relatif tinggi terutama pada area pesisir rendah.
5. Radiasi matahari cukup tinggi berkisar lebih dari 900 W/m<sup>2</sup>, meskipun pada cuaca mendung dapat kurang dari 100 W/m<sup>2</sup>.



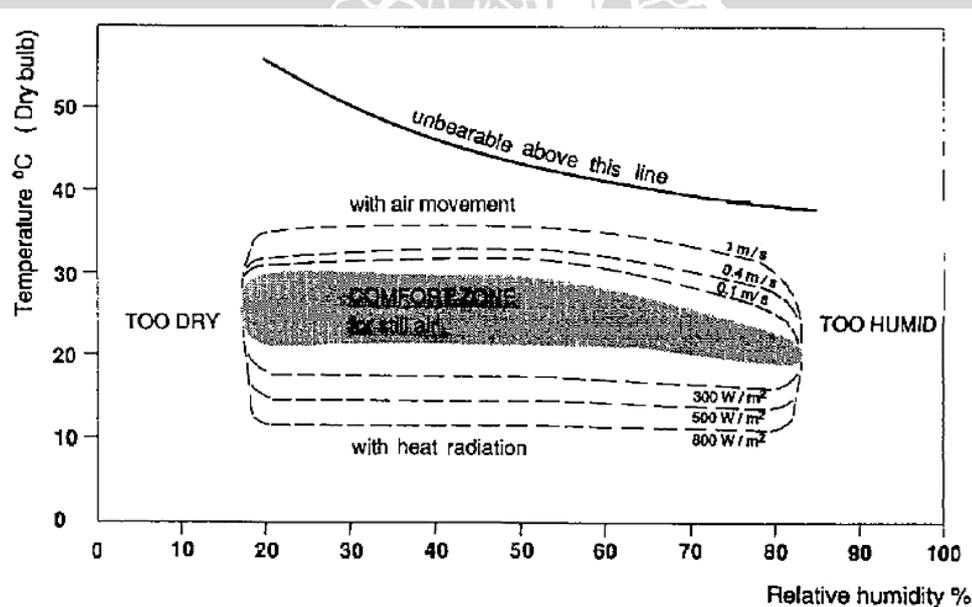
Gambar 2.1 Sudut Jatuh bayang Matahari pada Pergantian Musim

Sumber: Givoni, 1994

Intensitas radiasi matahari langsung yang masuk ke bangunan merupakan sumber energi panas yang sekaligus sebagai daya penerangan alami pada bangunan tersebut. Oleh karena itu, perlu proses untuk mendinginkan gedung antara lain dengan meminimalkan radiasi matahari, orientasi yang tepat dari bangunan, tata ruang yang memadai dan menggunakan perencanaan sistem selubung gedung yang tepat untuk membantu mengendalikan penerimaan intensitas radiasi panas secara efektif.

### 2.1.1 Tingkat Kenyamanan Termal di Iklim Tropis Lembab

Nilai Indeks kenyamanan termal ruangan di iklim tropis terutama di Indonesia untuk temperatur udara kering efektif, suhu sejuk – nyaman berkisar  $20,5 \sim 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , suhu nyaman optimal  $22,8 \sim 25,8 \text{ }^\circ\text{C}$  dan suhu hangat nyaman  $25,8 \sim 27,1 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Gambar 2.2 Analisis Bioklimatik oleh Givoni

Sumber: Satwiko, 2008

Untuk kelembaban relatif yang dianjurkan 40% - 50%, namun jika aktifitasnya padat maka masih diperbolehkan berkisar antara 55% - 60%. Sedangkan untuk pergerakan udara yang melintas di atas kepala diperbolehkan antara 0.15 m/s sampai 0.25 m/s dan tidak boleh sampai diatas batas indeks tersebut (SNI 03-6572-2001).

	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban (RH)
• Sejuk Nyaman Ambang atas	20,5°C - 22,8°C 24°C	50 % 80%
• Nyaman Optimal Ambang atas	22,8°C - 25,8°C 28°C	70%
• Hangat Nyaman Ambang atas	25,8°C - 27,1°C 31°C	60%

Gambar 2.3 Tabel Perbandingan Suhu Efektif Berdasarkan Standar Perencanaan Teknis Konservasi Energi

Sumber: SNI 03-6572-2001

Untuk kondisi wilayah iklim tropis, besaran tingkat kenyamanan termal berdasarkan persepsi kenyamanan manusia dapat dicapai pada kisaran suhu efektif 19°C sampai 26°C. Secara umum, pada kondisi temperatur 26°C manusia sudah mulai berkeringat dan kinerja mulai turun pada tingkat suhu mencapai 30°C. Kondisi suhu yang tinggi pada kisaran 33,5°C sampai 36°C, adaptasi terhadap kondisi sekitar sudah tidak nyaman lagi (Lippsmeier, 1980).

Pengarang	Tempat	Kelompok Manusia	Batas Kenyamanan
ASHRAE	USA Selatan (30° LU)	Peneliti	20,5°C - 24,5°C TE
Rao	Calcutta (22°LU)	India	20°C - 24,5°C TE
Webb	Singapura Khatulistiwa	Malaysia Cina	25°C - 27°C TE
Mom	Jakarta (6°LS)	Indonesia	20°C - 26°C TE
Ellis	Singapura Khatulistiwa	Eropa	22°C - 26°C TE

Gambar 2.4 Tabel Batas Kenyamanan Termal (dalam Temperatur Efektif/TE)

Sumber: Lippsmeier, 1980

Untuk indeks kenyamanan termal ruang yang dianjurkan pada bangunan dengan kondisi iklim tropis lembab terutama di Indonesia untuk suhu efektif (TE) dengan kisaran 22,8°C sampai 25,8°C dan kelembaban relatif hingga 40% sampai 50%.

Hal ini mengindikasikan bahwa harus ada proses mengurangi tingkat temperatur sebesar hampir 1 – 3 °C untuk mencapai kondisi suhu nyaman optimal ruangan terhadap suhu eksisting rerata di iklim Indonesia dengan kisaran 26 - 30 °C.

## 2.1.2 Strategi Arsitektur Tanggap Iklim

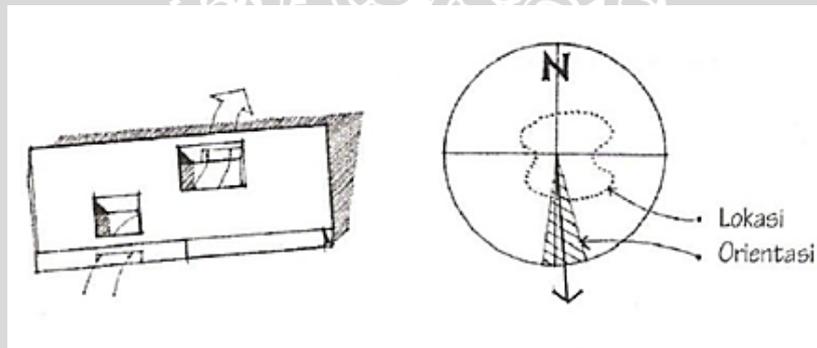
Strategi desain tanggap iklim terutama pada iklim tropis lembab dapat mencakup orientasi bangunan, elemen-elemen bangunan yang meliputi unsur-unsur fasade dan dinding.

### A. Orientasi Massa

#### 1. Orientasi terhadap Matahari

Orientasi bangunan sebaiknya memiliki bentang panjang dari posisi timur sampai barat dengan rentang proporsi ideal 1 :1,7 atau 1:3 untuk kondisi di wilayah iklim tropis lembab. Luasan bangunan yang memanjang secara optimal memiliki orientasi utara dan selatan, sedangkan untuk sisi yang pendek diusahakan dapat menghadap timur dan barat.

Secara teoritis, idealnya untuk iklim tropis lembab khususnya di selatan khatulistiwa, sumbu panjang bangunan bersudut  $5^\circ$  dari sumbu timur – barat searah jarum jam (Satwiko, 2008:26).



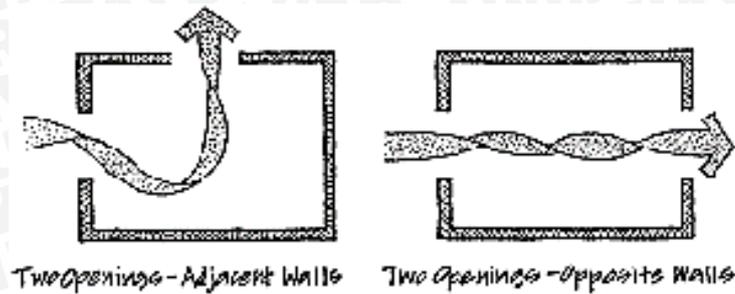
Gambar 2.5 Orientasi bangunan terhadap matahari

Sumber: Ismail, 2004

#### 2. Bukaannya Ventilasi

Fungsi utama dari sistem bukaan ventilasi adalah meningkatkan kondisi penghawaan di dalam ruang dan menurunkan tingkat kelembaban relatif udara terutama di wilayah iklim tropis lembab.

Untuk wilayah tropis khususnya Indonesia, posisi bangunan yang baik adalah diusahakan dapat berlawanan dengan potensi radiasi panas matahari langsung dan melintang terhadap arah angin primer. Kecepatan aliran udara yang sejuk terutama di dalam ruangan adalah pada kisaran 0,1 – 0,15 m/detik.

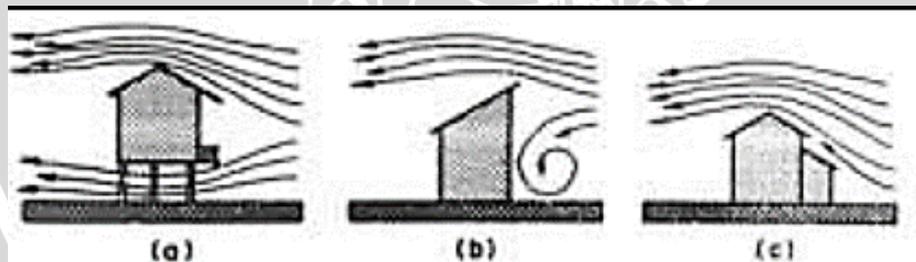


Gambar 2.6 Orientasi Bukaannya pada Gedung

Sumber: Lechner, 2007

Laju sirkulasi di dalam ruangan tergantung pada beberapa faktor seperti kecepatan aliran angin, arah angin, dimensi bukaan, jarak antara lubang *inlet* dan *outlet* dan adanya bagian partisi di dalam ruangan yang dapat menghalangi udara (Boutet, 1987).

Penempatan titik inlet yang tepat sangat diperlukan dalam mencapai pola sirkulasi udara yang optimal dan untuk posisi *outlet* tidak akan mempengaruhi pola aliran udara (Satwiko, 2008). Untuk menambah kecepatan udara terutama pada saat panas, bagian *inlet* udara diposisikan di bagian atas dengan luas bukaan *outlet* lebih besar dari *inlet* serta tidak ada perabot yang menghalangi gerakan udara di dalam ruang.

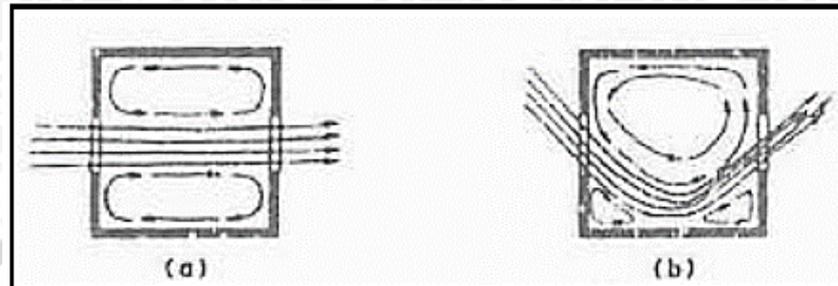


Gambar 2.7 Bentuk Dan Orientasi Bangunan Mengarahkan (a), Menghambat (b), Dan Membelokkan Udara (c)

Sumber : Lechner, 2007

Ketika bukaan yang ada berada dalam posisi tegak lurus, maka aliran udara juga akan mengalir tegak lurus dan langsung menuju bukaan tempat keluarnya udara. Di sisi lain, apabila aliran udara tidak tegak lurus (menyerong) dengan bukaan, meskipun letak bukaan berada pada posisi tegak lurus, gerakan udara akan memantul lebih dulu ke dinding, baru menuju bukaan tempat keluarnya udara.

Sedangkan, pada saat gerakan udara miring terhadap bidang bukaan, maka sebagian besar udara pada saat memasuki ruangan akan berbenturan dengan dinding, berputar-putar, bergerak di sekitar ruangan, dan meningkatkan aliran udara hingga sudut ruangan (Lippsmeier, 1980).



Gambar 2.8 Pergerakan Udara Tegak Lurus (a) dan Menyerong (b) Terhadap Bukaan Yang Tegak

Sumber : Lippsmeier, 1980

### B. Penerapan Elemen Pendukung Sistem Dinding

Elemen pendukung pada dinding sebagai perlindungan terhadap matahari pada daerah tropis sangatlah penting. Menurut Lippsmeier (1980), elemen pendukung tersebut meliputi:

1. Tirai horisontal, elemen ini sangat cocok untuk posisi matahari tinggi. Paling sesuai untuk fasade utara dan selatan. Elemen ini sering dikombinasikan dengan elemen bangunan yang menonjol keluar, salah satunya bisa menggunakan lamela. Perencanaan tirai horisontal harus diperhatikan bahwa udara panas tidak membentuk aliran panas pada fasade. Jarak elemen ini pada dinding sebesar 10cm sampai 20 cm.
2. Tirai vertikal, paling efektif pada posisi matahari rendah, yaitu pada fasade barat, barat daya atau barat laut, dan fasade timur, tenggara atau timur laut. Efektivitas tinggi tercapai bila tirai ini, terhadap cahaya matahari membentuk dinding yang tertutup secara optis. Bentuk paling sederhana adalah dinding silang yang menonjol keluar.

3. Kombinasi tirai vertikal dan horisontal, sangat tepat dipasang di tempat yang perubahan tinggi dan azimuth matahari nya besar dan dapat dirasakan dengan cepat, yaitu pada fasade yang berorientasi ke barat daya sampai barat laut atau tenggara sampai timur laut. Elemen ini lebih banyak menahan radiasi matahari, yang dapat berbentuk lamela atau blok pracetak horisontal dan vertikal dengan jarak yang rapat.
4. Elemen kaca insulasi (*sun screen*), hanya dapat mengurangi radiasi matahari sangat besar, serta bangunan yang bersangkutan harus memiliki penyejuk udara penuh. Kaca pelindung matahari digunakan baik untuk kaca jendela maupun sebagai elemen vertikal atau miring.

## 2.2 Strategi Pendinginan pada Gedung

### 2.2.1 *Passive Cooling Strategy* (Pendinginan Pasif)

Pendinginan secara pasif didasarkan pada integrasi antara gedung dan sekitarnya. Sebelum mengadopsi strategi pendinginan pasif, sebaiknya menyesuaikan dengan kondisi iklim setempat. Menurut Lechner (2007) terdapat lima metode pendinginan pasif pada bangunan bertingkat yaitu:

#### A. Metode pendinginan ventilasi

1. Ventilasi yang nyaman, disepanjang malam dan siang hari untuk meningkatkan penguapan dari kulit yang berakibat pada meningkatnya suhu panas yang nyaman.
2. Pendinginan *night-flush*: yang bertujuan untuk membuat kondisi *precool* pada bangunan untuk hari berikutnya.
3. Bukaannya berlangsung selama 24 jam dengan perlindungan dari radiasi panas matahari langsung seperti penggunaan tirai atau *shading*.

#### B. Metode pendinginan dengan sinar matahari

1. Pendinginan dengan sinar matahari secara langsung, mendinginkan suhu dari struktur atap pada suatu bangunan dengan cara pemberian radiasi terhadap *plafond* pada malam hari.

2. Pendinginan sinar matahari secara tidak langsung, radiasi pada malam hari akan mendinginkan suhu suatu cairan pemindah panas, yang kemudian akan mendinginkan bangunan tersebut.

C. Metode pendinginan dengan cara penguapan

1. Penguapan secara langsung: air disemprotkan ke udara yang masuk ke suatu bangunan. Proses tersebut akan menurunkan suhu udara, tetapi meningkatkan kelembapannya.
2. Pendinginan dengan cara penguapan tak langsung yaitu proses penguapan dengan mendinginkan udara yang masuk pada suatu bangunan tanpa menaikkan kelembapan di dalam ruangan.

D. Metode penghilangan kelembapan dengan bahan pengering: pengganti suhu panas yang bersifat laten.

### 2.2.2 *Active Cooling Strategy (Pendinginan Aktif)*

Sistem pendinginan biasanya diklasifikasikan dari cairan yang digunakan untuk memindahkan panas dari ruang habitat ke mesin pendingin. Empat kategori utama adalah pendinginan langsung, keseluruhan udara, keseluruhan air dan kombinasi udara-air.

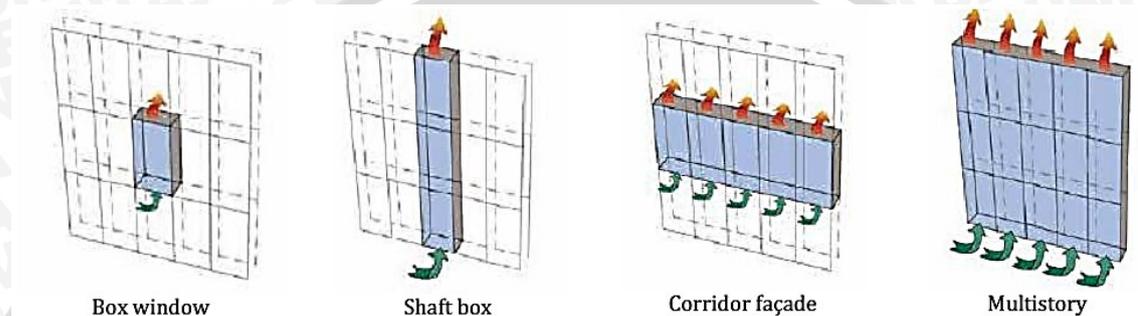
1. Sistem pendinginan langsung, menggunakan sistem freon cocok untuk mendinginkan ruang kecil sampai medium yang memerlukan unit mekanisnya sendiri yang terpisah.
2. Sistem sirkulasi udara secara menyeluruh, dapat secara efektif menukar, menyaring, dan menghilangkan kelembapan udara, namun pekerjaan saluran udara yang diperlukan besar.
3. Sistem kombinasi udara-air, merupakan kombinasi dari kedua sistem yang disebutkan sebelumnya. Pada sistem ini terdapat sistem panel radian menggunakan media *plafond*.
4. Penggunaan cairan dari sistem air es (*chiller water*) dengan suhu 5°C yang berasal dari mesin pendingin (*chiller*) terpusat yaitu sistem *central AC* dengan unit penghantar udara (AHU) dan saluran *ducting* untuk jalur pertukaran udara.

### 2.3 **Sistem Fasade Ganda**

Claesse & Deherde dalam Alessi (Alessi, 2008) menyebutkan bahwa sistem fasade ganda (DSF) adalah salah satu sistem selubung fasade dengan tambahan layer kaca

transparan dan dipasang di atas dinding eksisting. Menurut Yagoub et al, 2010, komponen utama DSF yaitu antara lain layer fasad luar, jarak antar rongga udara dan layer dinding dalam (eksisting).

Tipe DSF dapat dibagi menjadi empat macam berdasarkan bentuk penyekatan jarak antara dinding dalam dan luar, yaitu sistem bukaan jendela, tipe koridor fasad vertikal (*shaft box facade*), sistem koridor fasad horizontal (*corridor facade*) dan tipe yang terakhir yaitu sistem modul fasad per koridor lantai (*multistory facade*).



Gambar 2.9 Tipe Fasade Ganda

Sumber : Tascon, 2008

### 2.3.1 Kriteria Sistem Ventilasi

Jenis ventilasi fasade ganda umumnya dibagi menjadi beberapa kategori berdasarkan cara mengalirkan suplai angin dari luar pada rongga udara untuk dapat masuk ke dalam unit gedung. Berdasarkan kajian dari standar Belgian Building Research Institute (BBRI); (2004) tentang klasifikasi sistem fasade ganda (DSF) secara umum, dapat disimpulkan bahwa ada 3 tipe utama sistem yaitu:

#### a. Sistem Fasade Ganda Alami (*Natural Ventilation*)

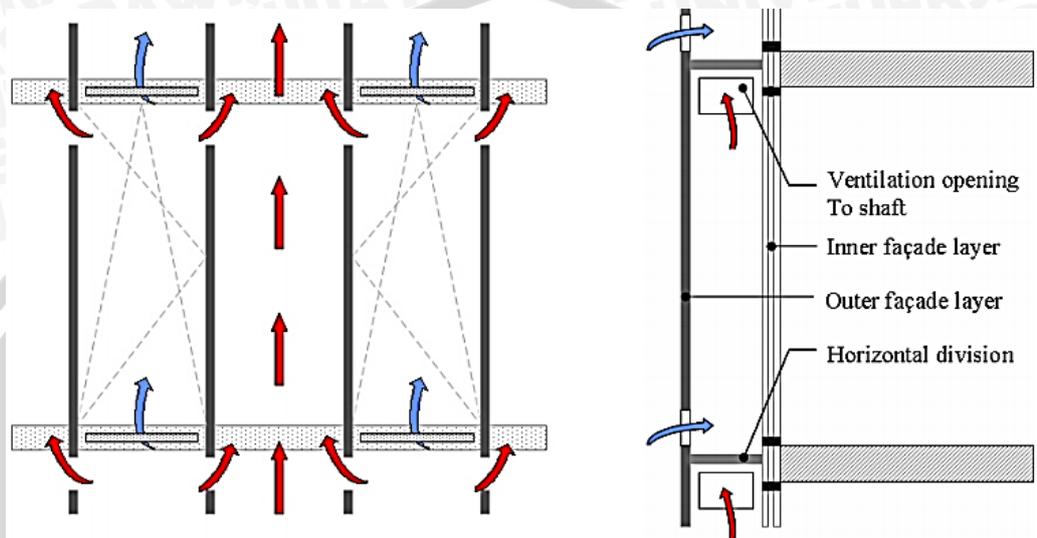
Sistem fasade ini menggunakan sistem sirkulasi udara pasif dengan dua jenis bukaan. Sistem ini berperan dalam suplai udara dari luar menuju area dalam melalui proses *stack effect* pada saluran rongga udara.

Proses dari *stack effect* sendiri bertujuan untuk mengangkat udara panas pada rongga menuju bukaan bagian atas fasade dengan memanfaatkan tumpukan udara dingin yang terkumpul pada rongga.

Menurut Poirazis (2004), klasifikasi tipe jenis sistem fasade ganda (DSF) alami dapat dibedakan meliputi:

### 1. Sistem *Shaft Box Facade*

Merupakan penggabungan tipe fasade secara horizontal dan vertikal yang memiliki luasan modul berbanding ketinggian beberapa tipe ruang. Aliran udara mengalir melalui sistem lubang ventilasi bagian bawah dan berakhir pada ujung bukaan di area lantai berikutnya.



Gambar 2.10 Konsep Sistem *Box Facade*.

Sumber : BBRI, 2004

### 2. Sistem *Corridor Facade*

Memiliki karakteristik sistem pelebaran aliran udara sepanjang rongga partisi yang diterapkan pada level horizontal deretan ruang pada tiap lantai. Modul luasan berbanding dengan area koridor tiap zona lantai secara horizontal.

### 3. Sistem *Multiple – Storey*

Memiliki modul volume rongga yang luas dan tidak terbatas pada aliran udara horizontal dan vertikal. Penerapan sistem ini memungkinkan kemudahan maintenance dan memberikan performa akustik yang cukup bagus dengan material kaca glaze dari struktur bawah sampai atas. Sistem ini mempunyai dua sistem model ventilasi yaitu tirai luar dan penahan akustik (Rosadi M., 2012).

4. Sistem *Multy- Storey Louvre*

Hampir mirip dengan sistem *multiple storey* namun memiliki tambahan sistem *pivotting louvre* yang berfungsi sebagai penyalur aliran udara tambahan meskipun pada keadaan tertutup pada area *tirai* luar.



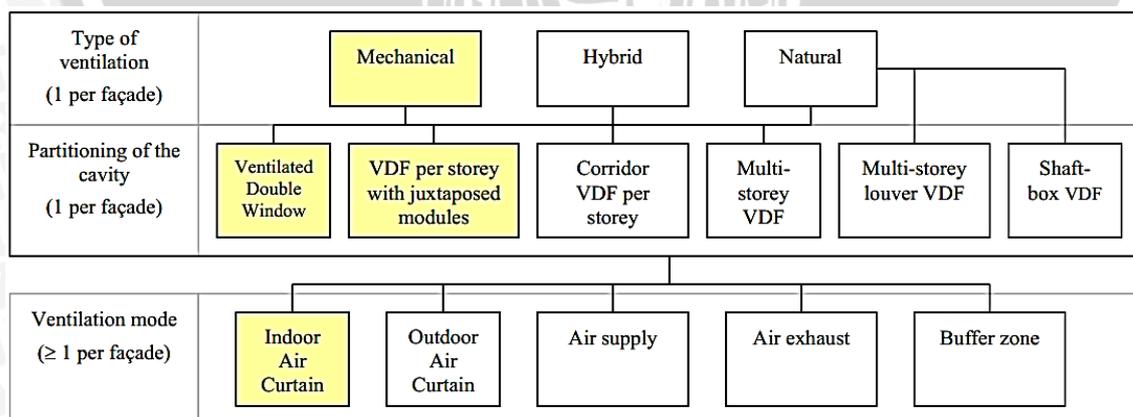
Gambar 2.11 Penerapan Tipe Jenis DSF Natural/ Alami

Sumber : Mulyadi, 2012

b. Sistem Fasade Ganda Mekanis (*Mechanical Ventilation*)

Sistem fasade aktif ini menerapkan konsep model ventilasi tirai dalam yang memiliki bantuan komponen tambahan berupa *shading device* dan dapat digerakkan secara manual atau sensor untuk menahan radiasi panas matahari.

Sistem fasade ini digunakan untuk proses ekstraksi udara panas di dalam ruang. Jenis fasade ini masih terbatas pada dua sistem saja yaitu jendela ganda (*double windowed*) dan *storey facade* dengan grid modul sejajar.



Gambar 2.12 Ilustrasi dari Karakteristik Utama Tipe Fasade Ganda Mekanis

Sumber : BBRI, 2004



### 1. Sistem Jendela Ganda (*Double Windowed*)

Jenis fasade mekanis ini berfungsi untuk mengurangi efek dari panas radiasi cahaya matahari langsung melalui bantuan tirai dalam secara otomatis. Modul fasade ini hanya terbatas pada dimensi jendela ruangan. Selain itu, jenis fasade ini mempunyai performa akustika lebih baik daripada dengan sistem *storey facade*.



Gambar 2.13 Contoh Penerapan Sistem Jendela Ganda

Sumber : BBRI, 2004

### 2. Sistem Fasade Ganda Mekanis (*Storey Facade with Juxtaposed Modules*)

Sistem fasade ini hampir sama dengan sistem jendela ganda. Perbedaannya adalah pada dimensi fasade yang lebih besar dengan permukaan kaca glazing yang dapat menahan panas radiasi lebih efektif. Prinsip utama dari sistem fasade ini adalah menyerap panas dari radiasi matahari melalui permukaan shading pada tirai dalam dan mengeluarkan udara panas ke bagian atas fasade dengan bantuan sistem *exhaust fan*.



Gambar 2.14 Tirai Dalam pada Sistem Fasade Ganda Mekanis (*Storey Facade with Juxtaposed Modules*)

Sumber : BBRI, 2004

c. **Sistem Fasade Ganda Kombinasi (*Hybrid Ventilation*)**

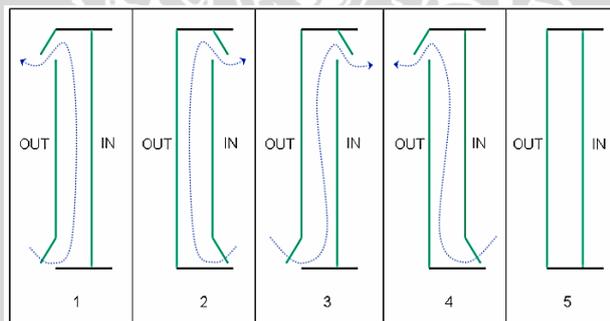
Sistem fasade ini merupakan perpaduan dari sistem ventilasi alami dan mekanis. Secara umum sistem fasade kombinasi lebih mengedepankan sistem pasif dari ventilasi alami dan untuk menyalurkan tekanan udara lebih cepat menggunakan sistem mekanis dari kipas, *solar chimney* atau sistem ventilasi buangan lainnya (BBRI; 2004).

Sistem kontrol pada fasade ganda ini pada umumnya menerapkan sistem sensor secara komputasi digital untuk menggerakkan kipas dan shading tambahan secara otomatis. Untuk penerapannya secara langsung masih dalam tahap perkembangan dan hanya beberapa saja yang menerapkan sistem fasade ganda ini.

### 2.3.2 Konsep Model Ventilasi

Konsep utama dari tiap model sistem fasade ganda (DSF) dapat dibedakan berdasarkan pola pergerakan udara yang masuk atau keluar dari rongga fasade. Menurut kajian dari *The Belgian Building Research Institute* (BBRI); (2004), model ventilasi fasade ganda (DSF) alami berbeda dengan yang menerapkan sistem mekanis karena pada dasarnya untuk sistem mekanis berfungsi sebagai ekstraksi panas saja sehingga hanya mengalirkan udara keatas atau keluar dari rongga.

1. **Kategori A** : Tirai Luar; tipe fasade ini berfungsi untuk menangkap udara dari luar dan mengalirkannya menuju ke dalam rongga fasade. Kemudian udara tersebut dikeluarkan secara linier ke bagian atas rongga.
2. **Kategori B** : Tirai Dalam; dalam hal ini fasade tambahan digunakan sebagai pelindung pasif atau menahan aliran udara dari dalam untuk dialirkan kembali ke dalam unit ruang melalui bukaan.
3. **Kategori C** : Suplai Udara; udara dari luar dialirkan dari bagian bawah rongga fasade menuju interior ruang melalui bukaan bagian atas.
4. **Kategori D** : Udara Buangan; diadopsi pada sistem fasade mekanis yang bertujuan untuk mengalirkan udara dari bagian dalam atau bukaan interior dan mengeluarkannya secara linier menuju bukaan rongga fasade bagian atas.
5. **Kategori E** : Penahan Akustik; model ini menjadikan fasade tambahan sebagai penahan pasif yang tidak memiliki bukaan untuk aliran udara pada rongga.

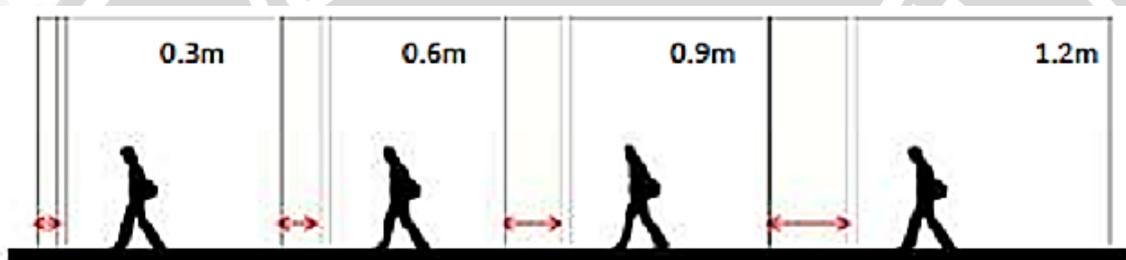


Gambar 2.15 Kategori Sistem Fasade Ganda Berdasarkan Sirkulasi Udara pada Rongga  
Sumber :BBRI, 2004

Untuk karakteristik umum dari sistem fasade ganda (DSF), berdasarkan data dari *The Belgian Building Research Institute [BBRI]*; (2002), adalah sebagai berikut:

1. **Exterior Glazing** : merupakan salah satu jenis fasade lapis struktur kaca yang mengeras. Sistem fasade ini jika diterapkan di elemen eksterior dapat sepenuhnya mengkilap.
2. **Interior Glazing** : bertujuan untuk melapisi unit ventilasi kaca (transparan, kandungan lapisan dari *Electro – Deposition (E-Coating)* yang rendah, *Solar Control Glazing*, dll dapat digunakan).

3. Rongga udara diantara dua panel . Hal ini dapat menjadi benar-benar alami, didukung dengan sistem *Fan* atau ventilasi mekanik . Lebar rongga insulasi dapat bervariasi sebagai fungsi dengan konsep instalasi yang diterapkan antara 200 mm sampai lebih dari 2 m.
4. Jendela dalam interior yang dapat dibuka oleh pengguna/user. Hal ini memungkinkan ventilasi alami pada bangunan gedung secara terus menerus.
5. Secara otomatis dapat dikendalikan dengan *Solar Shading* yang terintegrasi di dalam rongga udara .
6. Sebagai fungsi dari konsep fasade dari tipe struktur kaca. Radiator pemanas bisa juga dipasang di sebelah lapisan fasade .



Gambar 2.16 Variasi Jarak Gap Udara pada Rongga  
Sumber : Alessi, 2008

Karakteristik desain fasade pada bangunan dengan iklim subtropik yang dingin berbeda dengan penerapan desain fasade pada iklim tropis panas lembab terutama pada aspek material, tampilan, dan teknologi konstruksi jenis fasade itu sendiri (Mulyadi, 2012).

### 2.3.3 Keuntungan dan Kerugian Sistem

Menurut kajian dari Poirazis (2004:61-66), sistem fasade ganda (DSF) memiliki beberapa keuntungan dan kerugian dari segi pengaplikasian maupun kinerja sistem yaitu:

1. Biaya konstruksi yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan sistem panel *elektrokromik*, *termokromik* atau *Photochromic* (dapat berubah sesuai dengan kondisi iklim atau lingkungan).
2. Dapat berfungsi sebagai insulasi akustik. Sistem ini dapat mengurangi tingkat suara internal di dalam sebuah gedung perkantoran. Untuk

pengaplikasian isolasi terhadap bising, minimal pemasangan sistem berkisar 100 mm yang dapat diusulkan pada penerapan DSF (Jager, 2003).

3. Sebagai pertahanan terhadap suhu.. Sistem DSF dapat memberikan insulasi termal yang lebih besar karena memiliki layer kaca tambahan pada sisi *outdoor* sehingga bermanfaat pada penyimpanan panas saat di musim dingin dan mengeluarkan udara panas secara *stack – effect* di musim panas sepanjang hari.
4. Berfungsi sebagai ventilasi pada malam hari. Selama musim panas, ketika suhu eksternal lebih dari 26 ° C ada kemungkinan bahwa suhu interior ruang dapat dengan mudah meningkat. Dalam hal ini, dapat menghemat energi untuk proses pendinginan kantor maupun apartemen pada malam hari menggunakan ventilasi alami.
5. Sebagai aspek penghematan energi dan mengurangi dampak lingkungan.
6. Estetika secara transparansi dari segi arsitektural. Disebutkan bahwa aspek estetika pada arsitektur pada penerapan DSF ditonjolkan dengan keterbukaan desain fasade bangunan yang masih memberikan batas kenyamanan privasi bagi pengguna.

Sedangkan dari sisi kerugian sistem DSF sendiri dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Biaya konstruksi dan operasional sistem DSF lebih mahal jika dibandingkan dengan sistem single fasade (Oesterle et al., 2001).
2. Mengurangi jumlah *space* ruang yang disewakan. Lebar rongga antara dari DSF dapat bervariasi dari 20 cm hingga lebih dari 2 m dari sisi tirai dalam.
3. Masalah terhadap *Overheating*. Jika sistem DSF tidak dirancang dengan baik, maka suhu udara di rongga akan meningkatkan *overheating* ruang interior.
4. Meningkatkan beban struktur gedung. Penambahan pada struktur rangka DSF memberikan beban lebih besar pada pondasi gedung sehingga biaya operasional menjadi lebih mahal.

Advantages mentioned by author	Oeserle et al., (2001)	Compagno, (2002)	Clasens et al.	Lee et al., (2002)	B.B.R.I., (2002)	Arons, (2000)	Faist, (1998)	Kragh, (2000)	Jager, (2003)
Lower construction cost (comparing to electrochromic, thermochromic photo-chromic panes)	√								
Acoustic insulation	√		√	√	√	√	√	√	√
Thermal insulation during the winter	√	√	√	√			√	√	
Thermal insulation during the summer	√	√	√				√	√	
Night time ventilation	√	√	√	√		√			
Energy savings and reduced environmental impacts						√			
Better protection of the shading or lighting devices	√	√	√						√
Reduction of the wind pressure effects	√	√	√						√
Transparency – Architectural design				√	√	√		√	
Natural ventilation	√	√	√	√	√	√	√	√	
Thermal comfort – temperatures of the internal wall	√	√	√	√	√	√	√	√	
Fire escape	√								
Low U-Value and g-value		√				√	√	√	

Gambar 2.17 Tabel Tinjauan Literatur terhadap Kelebihan Sistem DSF

Sumber : Poirazis, 2004

Hanya ada satu tipe ventilasi yang sesuai dengan konsep penerapan sistem double skin fasade dan merunut pada tiga macam kinerja ventilasi yaitu ventilasi secara alami komponen mesin mekanik dan sistem gabungan antara ventilasi alami dan mekanis (Hybrid) (E. Djunaedy et. al, 2002).

Akselerasi tingkat pergantian udara (ACH) pada sistem ventilasi alami Double Skin Facade dengan bantuan kipas mekanik dapat membantu proses ekstraksi panas akan tetapi perlu diperhatikan efek terhadap penghematan energy karena instalasi dan perawatannya (Ade Prasetya J., 2009).

## 2.4 Strategi Sistem Fasade Ganda Kombinasi

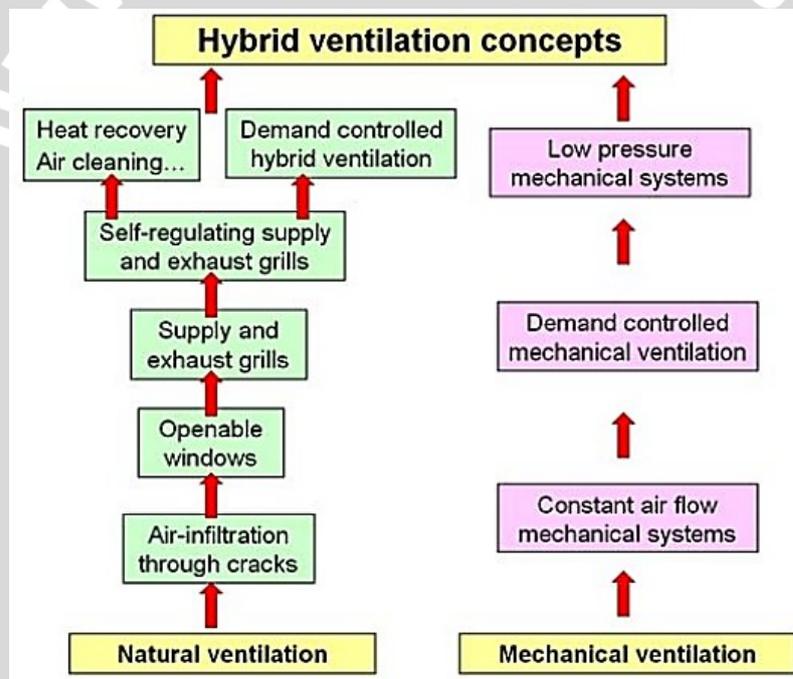
### 2.4.1 Prinsip Sistem Fasade

Sistem fasade ganda kombinasi (*Hybrid Ventilation*) merupakan salah satu kategori sistem fasade ganda yang memiliki kombinasi sistem antara fasade alami dan

mekanis sebagai upaya mengoptimalkan kenyamanan termal ruang secara bergantian sepanjang waktu selama harian atau musiman (Heinonen, 2000).

Sistem kontrol pada fasade ini umumnya digerakkan melalui konsep digitasi dari sensor dalam memonitoring pergantian kinerja fasade mekanis secara otomatis dan mengontrol pengaturan pada filter bukaan fasade sebagai upaya untuk mendapatkan suplai udara konstan pada gedung (ASHRAE Green Guide, 2006).

Proses kinerja sistem fasade ganda kombinasi sendiri terdapat dua variasi kontrol yaitu secara bergantian (*complementary type*) dengan pengaturan yang bisa berganti sistem antara mekanis atau alami dan secara bersamaan (*zoned type*) yang dapat secara berkesinambungan (ASHRAE Green Guide, 2006). Untuk sistem secara bersamaan (*zoned type*), perlu adanya penanganan lebih lanjut terhadap gesekan antara dua metode fasade ganda tersebut.



Gambar 2.18 Diagram Konsep Sistem Fasade Kombinasi

Sumber : BRITA Guidelines, 2007

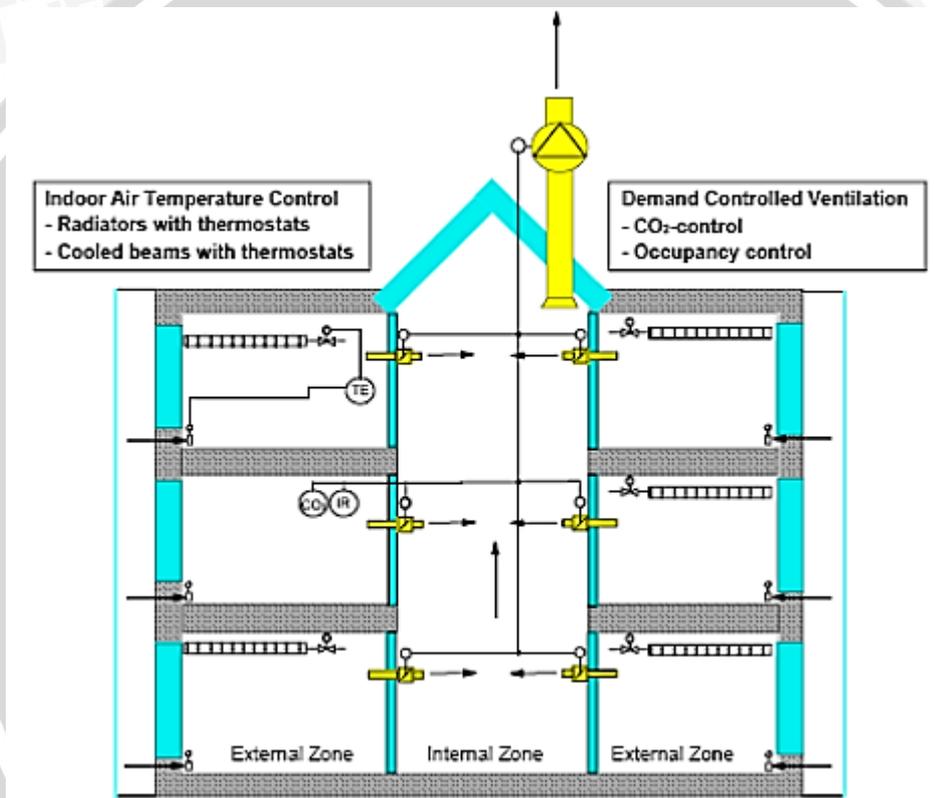
#### 2.4.2 Tipe Model Fasade

Sistem fasade ganda ini memiliki beberapa tipe model yang dibedakan menjadi tiga kategori utama yaitu dengan sistem udara buangan mekanis (*Mechanically Exhaust*), saluran suplai udara dari sistem AC terpusat (*Air Supply Duct*) dan sistem tekanan udara rendah secara pasif dan aktif (*Low Pressure Balanced Ventilation*) (Kosonen, 2000).

### 1. Sistem Udara Buanagn Mekanis (*Mechanically Exhaust*)

Sistem ini menerapkan operasi pengaturan dari kontrol radiator dengan pengaturan suhu pada bagian zona atas gedung yang berfungsi untuk menyediakan udara hangat pada saat musim dingin dan mengeluarkan CO<sub>2</sub> dengan daya hisap udara ke atas (Heinonen, 2000).

Parameter utama dari sistem ini adalah tingkat aliran udara terhadap kadar CO<sub>2</sub> dan faktor penghuni ruang (user). Prinsipnya adalah ketika ruangan user tersebut kosong maka sensor akan menutup lubang suplai udara dan alat pengatur udara buanagn (*Exhaust Air Dumpers*).



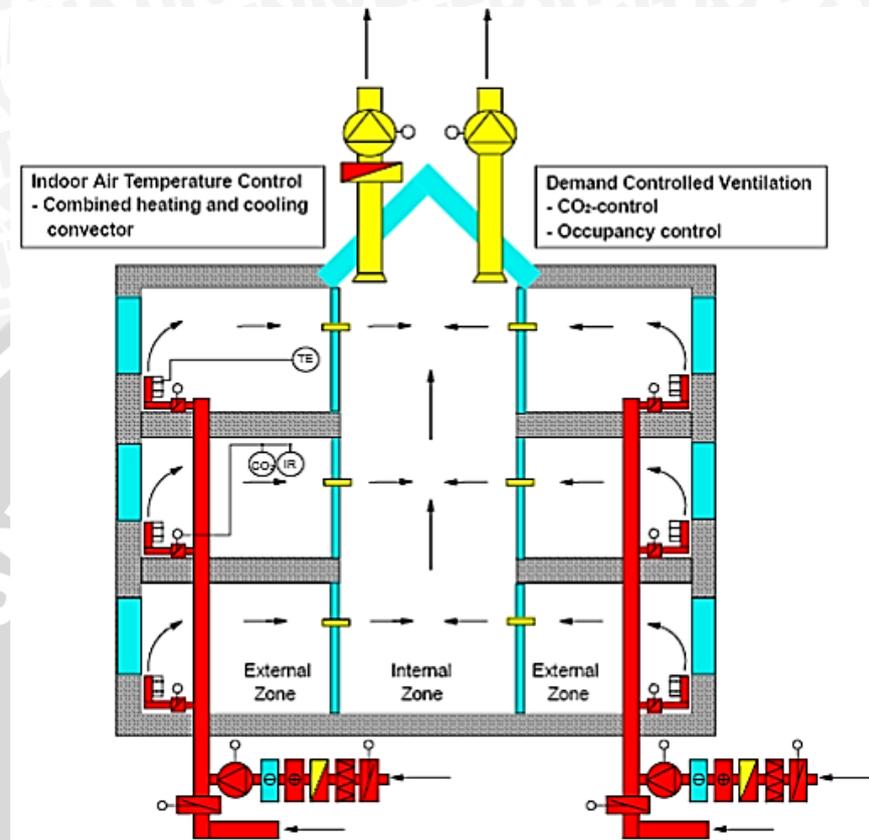
Gambar 2.19 Gambar Konsep Sistem Fassade Kombinasi dengan Sistem Udara Buanagn Mekanis (*Mechanically Exhaust*)

Sumber : Heinonen & Kosonen, 2000

### 2. Sistem Saluran Suplai Udara (*Supplay Air Duct*)

Udara dari sistem ventilasi dialirkan menuju ke seluruh bagian gedung melalui saluran pipa AHU (Air Handling Unit) secara alami dan hanya bekerja pada musim panas atau dingin.

Prinsip kombinasi dari komponen konvektor AC terpusat yang menyebabkan pergerakan aliran udara pada ujung pipa sehingga mengalir ke seluruh ruangan pada gedung dengan bantuan kipas mekanis.

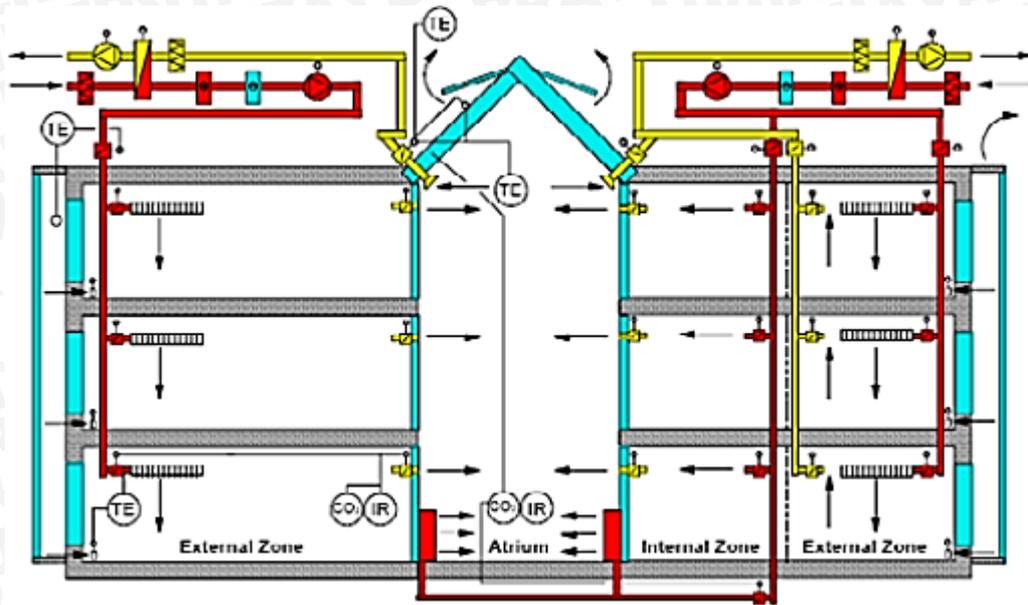


Gambar 2.20 Gambar Konsep Sistem Fassade Kombinasi dengan Sistem Saluran Suplai Udara (*Supply Air Duct*)

Sumber : Heinonen & Kosonen, 2000

### 3. Sistem Tekanan Udara Rendah (*Low Pressure Balanced Ventilation*)

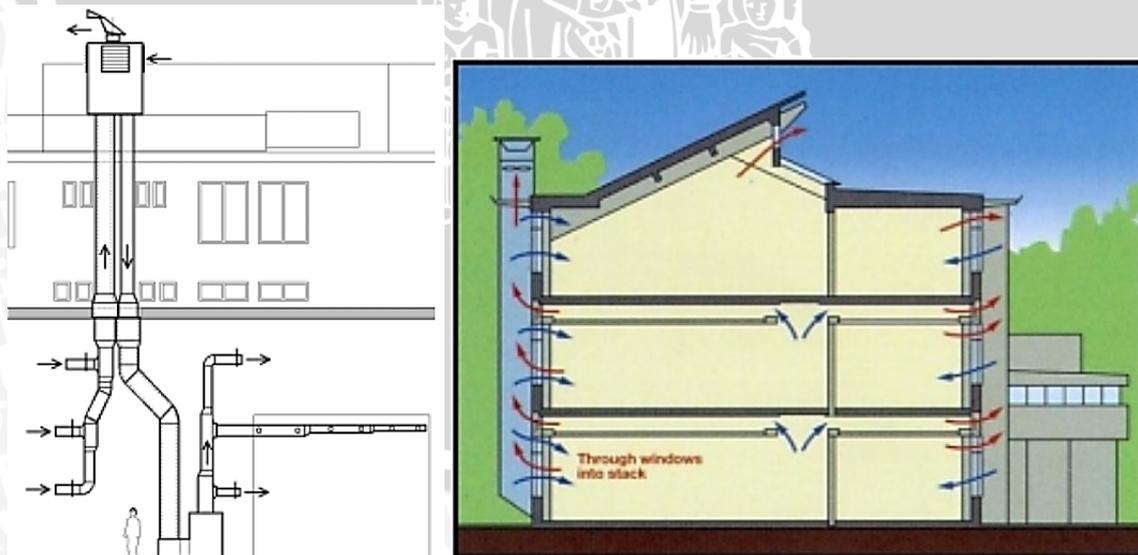
Sistem ini menggunakan kontrol penyaring aliran udara pada mode mekanis dengan daya tekanan rendah seperti *electrostatic filter* yang berfungsi untuk mengurangi kebisingan akibat pergerakan angin. Tekanan udara dari luar yang rendah memiliki aliran kecepatan yang juga rendah.



Gambar 2.21 Gambar Konsep Sistem Fasade Kombinasi dengan Sistem Tekanan Udara Rendah  
(*Low Pressure Balanced Ventilation*)

Sumber : Heinonen & Kosonen, 2000

Berdasarkan klasifikasi pengembangan dan penerapan dari jenis sistem fasade ganda kombinasi dibedakan menjadi tiga kategori utama yaitu menggunakan sistem alternatif gabungan ventilasi alami dan mekanis, bantuan kipas mekanis (*Fan Assisted*) dan dengan efek tekanan aliran udara mekanis (*Stack Pressure and Wind Supported*) (ASHRAE, 2006).



Gambar 2.22 Gambar Klasifikasi Penerapan Sistem Fasade Ganda Kombinasi  
Sumber : ASHRAE, 2006

### 2.4.3 Keuntungan dan Kerugian Sistem

Menurut kajian dari ASHRAE Green Guide (2006), terdapat berbeagai keuntungan dan kerugian yang ditimbulkan dari penerapan sistem fasade ganda kombinasi (*Hybrid Ventilation*) yaitu sebagai berikut:

Kelebihan Sistem:

1. Sebagai suatu inovasi dan potensi terbaru dalam efisiensi konsumsi daya energi pada gedung dan meningkatkan kualitas udara dari berbagai kondisi.
2. Dapat mengurangi siklus biaya daya energi pada gedung.
3. Menciptakan lingkungan yang sehat dan bebas polusi CO<sub>2</sub>.
4. Mengurangi daya komponen dari fasade ganda mekanis dalam menyalurkan suplai udara.
5. Memberikan kepuasan bagi penghuni terhadap kualitas sistem ventilasi untuk sirkulasi udara yang lebih efisien.

Kekurangan Sistem:

1. Terdapat kesalahan tertentu terhadap penerapan sistem fasade ganda kombinasi dengan aspek desain fasade gedung secara arsitektural.
2. Tambahan biaya operasional gedung untuk pengaturan kontrol sistem mekanis dan perawatan rutin fasade.
3. Jika otomasi dari sistem bukaan (*operable window*) diterapkan, maka perlu sistem keamanan tambahan dalam mengawasi pengaturan tersebut.
4. Operator kontrol sistem tersebut harus yang berpengalaman dan mendapat aturan yang ketat terhadap proses pengaturan tersebut.
5. Perlu penanganan lebih lanjut terhadap faktor kebakaran akibat korsleting sistem.
6. Sangat sulit memprediksikan parameter iklim kawasan yang tidak menentu sepanjang tahun.