

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2. 1. Kenyamanan Termal

##### 2.1. 1. Kenyamanan dalam ruang

Kenyamanan termal menurut Szokolay (1973) pada '*Manual of Tropical Housing and Building*' merupakan proses yang melibatkan kondisi fisik fisiologis dan psikologis. Kenyamanan termal adalah hasil pemikiran seseorang yang mengekspresikan mengenai kepuasan dirinya terhadap lingkungan termalnya. ASHRAE (*American Society of Heating Refrigerating Air Conditioning Engineer*) mendefinisikan kenyamanan termal sebagai suatu kondisi dimana ada kepuasan terhadap keadaan termal di sekitarnya. Sedangkan kenyamanan termal menurut Snyder (1989) merupakan keadaan lingkungan/alam yang dapat mempengaruhi manusia. Dari pernyataan tersebut dapat dinyatakan bahwa kenyamanan termal merupakan rumusan empirik yang merupakan sebuah pengalaman terhadap rasa dimana kondisi yang dirasakan dapat berbeda antara satu orang dengan yang lainnya. Dalam menentukan kenyamanan sebuah zona / area, dapat dinyatakan dengan melihat persepsi dominan yang dirasakan oleh sekelompok sampel pada area tersebut.

### 2.1.2. Faktor kenyamanan dalam ruang

Menurut Fanger(1972)kondisi kenyamanan termal juga dipengaruhi oleh faktor iklim dan faktor individu. Faktor iklim yang mempengaruhi kondisi termal terdiri dari: suhu udara, suhu radiasi rata-rata, kelembaban udara relatif, dan kecepatan angin serta pergerakan udara di dalam ruang. Sedangkan faktor individu yang menentukan keadaan suhu nyaman adalah jenis aktivitas serta jenis pakaian yang digunakan

#### a. Temperatur udara

Temperatur udara antara suatu daerah dengan daerah lainnya sangat berbeda. Perbedaan ini disebabkan adanya beberapa faktor, seperti sudut datang sinar matahari, ketinggian suatu tempat, arah angin, arus laut, awan, dan lamanya penyinaran. Satuan yang umumnya digunakan untuk temperatur udara adalah Celcius, Fahrenheit, Reamur dan Kelvin.

Adapun batas-batas kenyamanan akibat faktor temperatur udara untuk daerah khatulistiwa adalah  $19^{\circ}\text{C TE}$  (batas bawah) -  $26^{\circ}\text{C TE}$  (batas atas)(Lippsmeier, 1994). Pada temperatur  $26^{\circ}\text{C TE}$  umumnya manusia sudah mulai berkeringat. Pada temperatur  $26^{\circ}\text{C TE} - 30^{\circ}\text{C TE}$  daya tahan dan kemampuan kerja manusia mulai menurun. Temperatur lingkungan mulai cukup sulit diterima dirasakan pada suhu  $33,5^{\circ}\text{C TE} - 35,5^{\circ}\text{C TE}$ , dan pada suhu  $35^{\circ}\text{C TE} - 36^{\circ}\text{C TE}$  kondisi lingkungan tidak dapat ditolerir lagi. Kondisi udara yang tidak nyaman cenderung akan menurunkan tingkat produktifitas seperti halnya terlalu dingin atau terlalu

panas, sedangkan produktifitas kerja manusia dapat meningkat pada kondisi suhu (termis) yang nyaman (Talarosha, 2005).

b. Kelembaban udara dan kelembaban relatif

Kelembaban udara adalah kandungan uap air yang ada di udara. Kelembaban udara menjadi faktor penting dalam kenyamanan termal pada saat suhu udara mendekati atau melampaui ambang batas kenyamanan dan kelembaban udara lebih dari 70% serta kurang dari 40%. Pada kondisi di dalam ruang, kelembaban udara ini mempengaruhi pelepasan kalor dari tubuh manusia. Kelembaban udara yang tinggi akan menyebabkan kalor di dalam tubuh manusia sulit dilepaskan, sehingga kondisi ini akan menciptakan rasa tidak nyaman. Untuk mengimbangi kondisi kelembaban yang tinggi ini dibutuhkan kecepatan angin yang cukup di dalam ruang, sedangkan kelembaban relatif adalah rasio antara jumlah uap air di udara dengan jumlah maksimum uap air dapat ditampung di udara pada temperatur tertentu. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kelembaban udara, yakni radiasi matahari, tekanan udara, ketinggian tempat, angin, kerapatan udara, serta suhu.

c. Kecepatan angin

Angin adalah udara yang bergerak yang disebabkan adanya gaya yang diakibatkan perbedaan tekanan dan perbedaan suhu (Satwiko, 2009 :5). Kecepatan angin pada daerah beriklim tropis lembab cenderung sangat minim. Kecepatan angin umumnya terjadi pada siang hari atau pada musim pergantian. Peranan udara yang bergerak ini sangat membantu

mempercepat pelepasan kalor pada permukaan kulit. Angin membantu mengangkat uap-uap air yang menghambat pelepasan kalor. Akan tetapi jika angin ini terlalu kencang maka kalor yang dilepaskan tubuh menjadi berlebih sehingga akan timbul kondisi kedinginan yang mengurangi kenyamanan termal.

d. Insulasi pakaian

Faktor lain yang mempengaruhi kenyamanan termal adalah jenis dan bahan pakaian yang digunakan. Salah satu cara manusia untuk beradaptasi dengan keadaan termal di lingkungan sekitarnya adalah dengan cara berpakaian, misalnya, mengenakan pakaian tipis di musim panas dan pakaian tebal di musim dingin. Pakaian juga dapat mengurangi pelepasan panas tubuh. Pada penelitian Henry dan Nyuk(2004) mengenai '*Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia*' disebutkan bahwa penghuni ruang dapat beradaptasi terhadap kondisi termal dengan menyesuaikan jenis pakaian dengan kondisi iklim yang ada.

Tabel 2. 1. Nilai insulasi pakaian  
Sumber: ASHRAE, (1989)

<i>Garment Description</i>	<i>clo</i>	<i>Garment Description</i>	<i>clo</i>
<i>Underwear</i>		<i>Trousers and Coveralls</i>	
Men's briefs	0,04	Short shorts	0,06
Panties	0,03	Walking shorts	0,08
Bra	0,01	Straight trousers (thin)	0,15
T-shirt	0,08	Straight trousers (thick)	0,24
Full slip	0,16	Sweat Pants	0,28
Half slip	0,14	Overalls	0,3
Long underwear top	0,2	Coveralls	0,49
Long underwear bottom	0,15	<i>Dresses and skirts</i>	
<i>Footwear</i>		<i>Skirt (thin)</i>	
Ankle-Length athletic socks	0,02	Skirt (thick)	0,14
Calf-Length socks	0,03	Long-sleeve shirt dress (thin)	0,23
Knee socks (thick)	0,06	Long-sleeve shirt dress (thick)	0,33
Panty hose stockings	0,02	Short-sleeve shirt dress (thin)	0,29
Sandals	0,02	Sleeveless, scoop neck (thin)	0,23
Slippers	0,03	Sleeveless, scoop neck (thick)	0,27
Boot	0,1	<i>Sweaters</i>	
<i>Shirt and Blouses</i>		<i>Sleeveless vest (thin)</i>	
Sleeveless	0,12	Sleeveless vest (thick)	0,13
Short sleeve, dresses	0,19	Long-sleeve (thin)	0,22
Long sleeve, dresses	0,25	Long-sleeve (thick)	0,25
Long sleeve, flannel shirt	0,34	<i>Sleepwear and Robes</i>	
Short sleeve, knit sport shirt	0,17	Sleeveless, short gown (thin)	0,18
Long sleeve, sweat shirt	0,34	Sleeveless, long gown (thin)	0,2
		Long-sleeve pajamas	0,57
		Short-sleeve pajamas	0,42

e. Aktivitas

Aktivitas yang dilakukan manusia akan meningkatkan proses metabolisme tubuhnya. Semakin tinggi intensitas aktivitas yang dilakukan, maka semakin besar peningkatan metabolisme yang terjadi di dalam tubuh, sehingga jumlah energi panas yang dikeluarkan semakin besar.

Tabel 2. 2. Metabolisme *rate* berdasarkan aktivitas dalam ruang olahraga  
Sumber: ASHRAE 55 (2010)

<i>Activity</i>	<i>Metabolic Rate</i>		
	<i>Units</i>	<i>W/m<sup>2</sup></i>	<i>(Btu/h·ft<sup>2</sup>)</i>
<b>Resting</b>			
<i>Sleeping</i>	0,7	40	13
<i>Reclining</i>	0,8	45	15
<i>Seated, quiet</i>	1	60	18
<i>Standing, relaxed</i>	1,2	70	22

Lanjutan Tabel 2. 3. Metabolisme *rate* berdasarkan aktivitas dalam ruang olahraga  
 Sumber: ASHRAE 55 (2010)

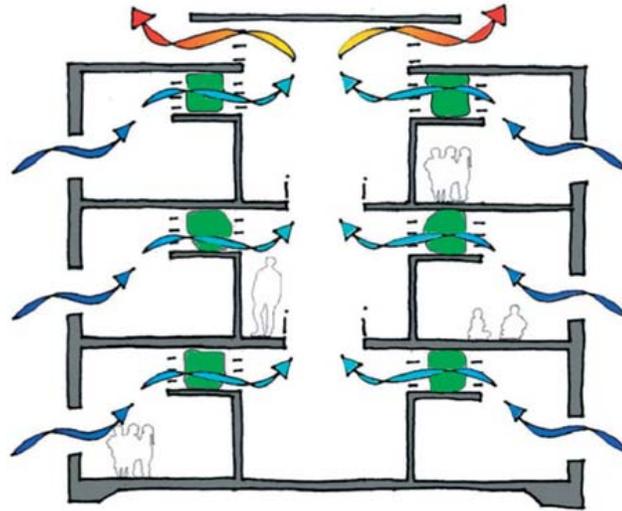
<i>Miscellaneous Leisure Activities</i>			
<i>Activity</i>	<i>Metabolic Rate</i>		
	<i>Units</i>	<i>W/m<sup>2</sup></i>	<i>(Btu/h·ft<sup>2</sup>)</i>
<i>Dancing, social</i>	2,4–4,4	140–255	(44–81)
<i>Calisthenics/exercise</i>	3,0–4,0	175–235	(55–74)
<i>Tennis</i>	3,6–4,0	210–270	(66–74)
<i>Basketball</i>	5,0–7,6	290–440	(90–140)
<i>Wrestling</i>	7,0–8,7	410–505	(130–160)

### 2.1.3. *Air change rate (ACH)*

Pergantian udara per-jam (*Air Change per Hour*) merupakan jumlah pergantian seluruh udara dalam ruangan dengan udara segar dari luar setiap jam-nya (Satwiko 2009 : 4). Bangunan di negara tropis lembab pada umumnya menggunakan bukaan dengan jendela untuk memasukkan udara segar dari luar bangunan. Proses pergantian udara dalam bangunan sangat tergantung pada aspek bangunan itu sendiri dan pengaruh lingkungan di luar bangunan. Aspek pada bangunan tersebut meliputi penempatan jendela (baik secara vertikal maupun horisontal), dimensi ukuran jendela dan tipe jendela yang digunakan. Sedangkan aspek luar bangunan terdiri dari arah dan kecepatan angin di luar bangunan, suhu, dan kelembaban udara di dalam dan di luar bangunan, spesifikasi lubang ventilasi (posisi *inlet* dan *outlet*, dimensi ukuran ventilasi) Givoni (1976).

Faktor-faktor tersebut harus saling berkaitan dan saling mendukung agar tercipta pertukaran udara yang baik. Menurut Moore (1993) letak *inlet* sebagai media memasukkan udara sebaiknya sama tingginya dengan ketinggian penghuni yang sedang beraktifitas di dalam ruang tersebut, dan untuk mempermudah

pengeluaran udara (*outlet*) di dalam ruang, *outlet* sebaiknya diletakkan lebih tinggi dari aktivitas penghuni. (Gambar 2.2)



Gambar 2. 1. Sistem pertukaran udara pada ruang

Sumber: <http://www.machacoustics.com> (15 Desember 2014)

Untuk mencapai *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 EnREI Report (1995).

Tabel 2. 4. Standar kebutuhan udara

Sumber: EnREI 1991

Tujuan	Standar Kebutuhan ACH	Standar Kebutuhan ( Liter / detik m <sup>2</sup> )
Kesehatan	0,5 - 1	0,4 - 0,8
Kenyamanan	1 - 5	0,8 - 4

Persamaan yang dipakai untuk menghitung pertukaran udara per - jam (ACH) pada ruangan/bangunan digunakan rumus sebagai berikut:

$$ACH = (Q/V) \times 3600$$

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

$V \rightarrow$  adalah volume ruangan ( $m^3$ )

Pada saluran *supply* udara yang dimasukkan kedalam ruangan mempergunakan kipas, maka akan terjadi desakan pada saluran udara. Proses ini mengakibatkan terjadinya perbedaan kepadatan udara di dalam saluran ( $Y_i$ ) dan ( $Y_o$ ) kepadatan udara diluar bangunan. Perbedaan kepadatan udara ini akan mempengaruhi kecepatan aliran (Utomo, 2007). Dari rumusan dasar mengenai kapasitas pipa saluran tersebut maka rumusan kecepatan aliran pada saluran dapat menggunakan persamaan berikut.

$$Q = A \times V \times Y_o/Y_i$$

Dimana :  $Q =$  Debit aliran  $m^3/s$

$A =$  Luas penampang saluran udara

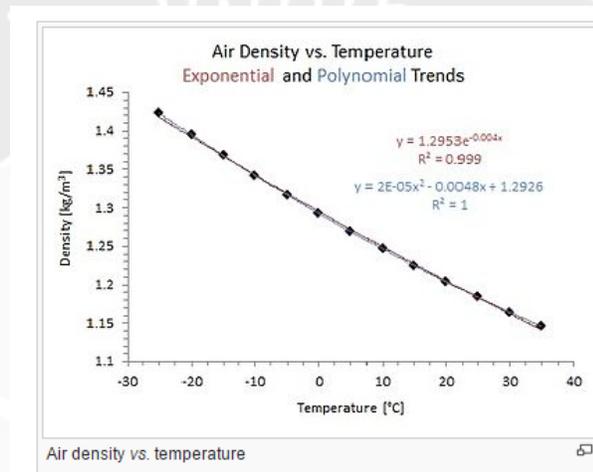
$Y_o =$  Kepadatan udara dalam ruang bangunan

$Y_i =$  Kepadatan udara pada saluran

Untuk nilai kepadatan udara dapat menggunakan tabel 2.4, dan dapat juga menggunakan grafik kepadatan udara dan temperatur (Grafik 2.1)

Tabel 2. 5. Kepadatan udara untuk berbagai tingkatan temperatur  
 Sumber: [http://en.wikipedia.org/wiki/Density\\_of\\_air](http://en.wikipedia.org/wiki/Density_of_air) (2 januari 2015)

T (°C)	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1,42	1,39	1,36	1,34	1,31	1,29	1,26	1,24	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14
	3	5	8	2	6	3	9	7	5	4	4	4	6

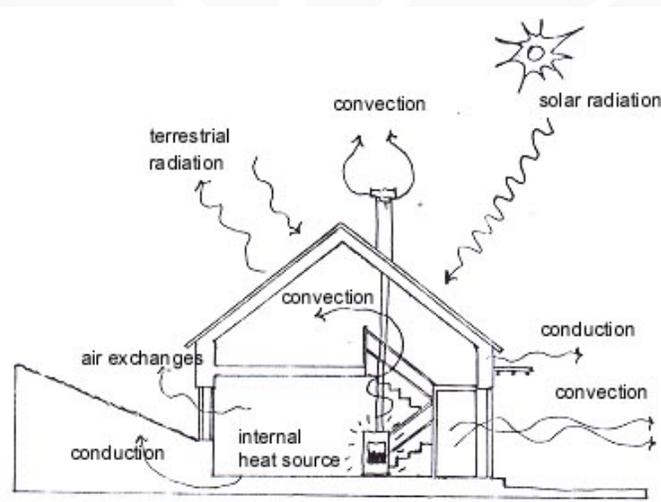


Grafik 2. 1. Kepadatan udara untuk berbagai tingkatan temperatur  
 Sumber: [http://en.wikipedia.org/wiki/Density\\_of\\_air](http://en.wikipedia.org/wiki/Density_of_air) (2 januari 2015)

Kebutuhan Pertukaran udara dalam ruang untuk tiap aktivitas berbeda antara aktivitas satu dengan lainnya. Pada bangunan yang berfungsi sebagai sarana olahraga seperti bulutangkis, pertukaran udara yang minimal adalah 1,5 ACH dengan suhu udara yang dapat diterima untuk mencapai kenyamanan termal 16 – 19°C ketika berkeringat, sedangkan suhu normal ruang yang masih dapat diterima pada permainan bulutangkis adalah 25°C, *Badminton Design Guide* [www.sportengland.org](http://www.sportengland.org) (2011).

#### 2.1.4. Perpindahan panas

Kalor (panas) selalu berpindah dari substansi yang lebih hangat ke substansi yang lebih dingin. Dalam kenyataannya, molekul yang getarannya lebih cepat memindahkan sebagian dari energi ke molekul yang getarannya lebih lambat. Molekul yang getarannya cepat akan menjadi sedikit melambat dan molekul yang lebih lambat menjadi lebih cepat. Secara sederhana, jika udara di dalam bangunan lebih dingin dibandingkan suhu udara diluarbangunan, maka panas dari luar cenderung untuk memasuki ruangan yang lebih sejuk di dalam bangunan.



Gambar 2. 2. Prinsip perpindahan panas  
Sumber: <http://www.gopixpic.com/> (20 Desember 2014)

##### a. Perpindahan panas konduktif

Perpindahan panas konduktif (*conductive heat transfer*) adalah perpindahan panas melalui kontak langsung antar permukaan atau proses perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui

kontak atau sentuhan. Perpindahan panas secara konduksi dalam tubuh manusia terjadi pada organ tubuh bagian dalam. Untuk meminimalkan jumlah kalor yang dihasilkan tubuh, suhu panas dari dalam tubuh harus dikonduksikan melalui kulit, agar terjadi konduksi maka harus terdapat perbedaan temperatur. Oleh karena itu temperatur kulit harus lebih rendah. Dalam keadaan normal temperatur kulit manusia sekitar  $35^{\circ}\text{C}$ , dan dalam keadaan dingin sekitar  $27^{\circ}\text{C}$

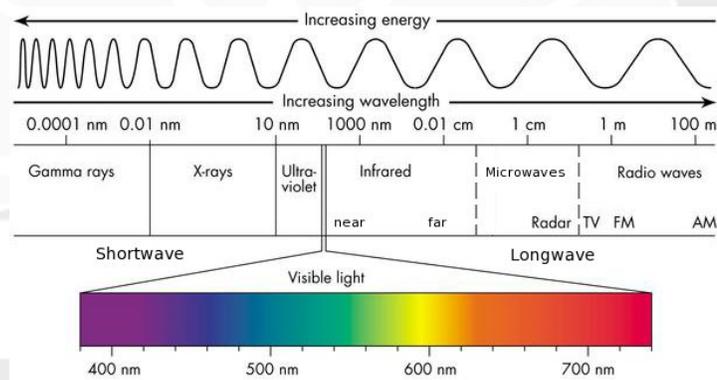
b. Perpindahan panas konvektif

Perpindahan panas konvektif (*convective heat transfer*) adalah perpindahan panas berdasarkan gerakan aliran fluida atau perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas melalui aliran angin atau zat alir lainnya. Melalui perpindahan panas secara konvektif ini udara panas yang diperoleh atau dihilangkan tergantung kepada suhu udara yang melintas tubuh manusia. Perpindahan panas pada manusia terjadi saat tubuh berkeringat dan kegerahan maka panas tubuh akan mengalir ketika ada aliran angin yang melewati tubuh kita.

c. Perpindahan panas radiatif

Perpindahan panas radiatif (*radiative heat transfer*) adalah perpindahan panas dari benda yang lebih panas ke benda yang kurang panas atau lebih dingin dengan cara pancaran gelombang elektromagnetik tanpa melalui medium. Paparan sinar matahari yang masuk melalui jendela kaca bangunan akan diteruskan ke dalam bangunan secara radiasi, kondisi ini menyebabkan keadaan di dalam ruang akan terasa panas. Basaria

Talarosha (2005:156) mengatakan bahwa radiasi matahari memancarkan sinar ultra violet (6%), cahaya tampak (48%), dan sinar infra merah yang memberikan efek panas sangat besar (46%). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa radiasi matahari adalah penyumbang jumlah panas terbesar yang masuk ke dalam bangunan. Besarnya jumlah radiasi matahari yang ditransmisikan melalui selubung bangunan dipengaruhi oleh *fasade* bangunan, yaitu perbandingan antara luas kaca dan luas seluruh dinding bangunan (*wall to wall ratio*), serta jenis dan tebal kaca yang digunakan.



Gambar 2. 3. Tingkatan gelombang elektromagnetik  
Sumber: <http://www.aos.wisc.edu> (20 Desember 2014)

d. Perpindahan panas evaporatif

Perpindahan panas secara evaporatif adalah perpindahan panas yang diakibatkan karena adanya proses penguapan uap air ditubuh manusia. Tubuh manusia melepaskan panasnya yang disebabkan faktor kelembaban di permukaan kulit. Proses penguapan ini terjadi karena

adanya perbedaan lapisan udara. Suhu udara lingkungan di sekitar kita akan turun jika ada proses penguapan air dari benda-benda di sekitar lingkungan tersebut. Air dalam bentuk kabut (*spray*) akan lebih mudah menangkap panas dari udara lingkungan sekitarnya, namun apabila udara mengalami titik jenuh maka udara tidak lagi mampu menyerap uap air disekitarnya, sehingga proses penguapan tidak dapat berlangsung dengan cepat bahkan tidak ada proses penguapan lagi. Daerah yang beriklim tropis laju proses evaporasi ini akan berjalan lambat, kondisi ini diakibatkan kelembaban yang tinggi, Proses evaporasi dapat terjadi karena adanya perbedaan suhu lapisan udara, udara terdiri dari lapisan-lapisan yang mempunyai perbedaan suhu antar lapisan. Akibat perbedaan suhu lapisan udara tersebut maka terjadi gaya gerak udara ke atas secara alami (*stack effect*). Widiyananto (2014) mengatakan, pada tubuh manusia proses ini menyebabkan terjadinya penguapan keringat pada kulit manusia, pendinginan pada kulit juga terjadi karena udara panas terdorong naik digantikan dengan udara sejuk. Tetapi bila tidak ada pengudaraan, tubuh tidak dapat lagi melepaskan kelembaban atau keringat. Hal inilah yang menyebabkan perasaan gerah atau kepanasan atau perasaan tidak nyaman.

e. Keseimbangan kalor

Manusia menghasilkan panas akibat dari proses metabolisme tubuh. Panas yang dikeluarkan dari tubuh bergantung pada aktivitas individu (Givoni, 1976). Perpindahan kalor dalam tubuh manusia terdiri dari kalor yang diproduksi dari proses metabolisme tubuh dan kalor yang

hilang akibat proses konduksi, konveksi, radiasi dan evaporasi. Secara umum perpindahan kalor dalam tubuh manusia dapat ditulis dengan persamaan berikut.

$$Q = Q_{met} + Q_{loss}$$

$Q_{met}$  = Merupakan kalor yang diproduksi dari hasil metabolisme tubuh

$Q_{loss}$  = Merupakan kalor yang dilepaskan oleh tubuh

Widiyananto (2014) mengatakan manusia memiliki temperatur tubuh sekitar 37°C. Temperatur tersebut diradiasikan oleh tubuh. Untuk mempertahankan temperatur maka tubuh melakukan transpirasi atau evaporasi atau mengeluarkan keringat. Penguapan keringat diperlukan agar panas yang berlebihan dapat dilepas sehingga pada akhirnya kenyamanan suhu dapat tercapai. Panas yang dihasilkan oleh tubuh manusia harus segera dilepas, hal ini bisa kita ketahui bila kita berkeringat sebagai tanda bahwa mekanisme tubuh kita bekerja. Kemampuan individu untuk beradaptasi dengan lingkungan sekitarnya berbeda antara individu satu dengan yang lainnya, saat beraktifitas dengan suhu yang tinggi, tubuh akan mengalami kehilangan banyak cairan. Pada kondisi ini tubuh akan melakukan mekanisme fisiologis dengan mengeluarkan panas untuk menstabilkan suhu inti tubuh. Pengaruh udara panas yang berlebih terhadap tubuh dapat menyebabkan terjadinya kram panas (*heat cramps*), serangan panas secara tiba-tiba (*heat syncope, heat stroke*) (Novita, 2007).

Tabel 2. 6. Perubahan patofisiologis akibat penurunan suhu tubuh  
 Sumber: Novita Eka ( 2007)

Suhu Tubuh°C	Perubahan Patofisiologis
36	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peningkatan laju metabolik</li> </ul>
35	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menggigil</li> <li>• Perubahan neurologis</li> <li>• Hyperreflexia</li> <li>• Dysarthria</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lambat berfikir</li> </ul>
34	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatur lebih rendah kompetibel dengan Continued Exercise</li> </ul>
33	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amnesia</li> </ul>
32	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penurunan tingkat kesadaran</li> </ul>
31	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penurunan kinerja organ vital tubuh</li> </ul>
29-30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hilangnya kesadaran</li> <li>• Kekakuan fungsi otot</li> <li>• Perlambatan detak jantung</li> </ul>
27-28	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hilangnya kemampuan gerak reflex</li> <li>• Menyebabkan kematian</li> </ul>

## 2. 2. Angin dan Suhu Udara

Umumnya manusia menghabiskan waktunya (lebihdari 90%) di dalam ruangan(Lee, S.C. dan M.Chang, 2000), sehingga mereka membutuhkan udara yang nyaman dalam ruang tempat mereka beraktifitas, oleh karena itu kecepatan udara yang baik dalam ruangan sangat bermanfaat bagi mereka. Basaria Talarosha (2005) mengatakan pengudaraan atau ventilasi adalah merupakan proses pergantian udara, baik di ruang terbuka maupun diruangan tertutup. Ventilasi alami atau pengudaraan alami adalah proses pergantian udara secara alami tanpa alat bantu mekanis. Ventilasi dibutuhkan agar udara dalam ruangan tetap sehat, segar dan nyaman. Hal - hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pengudaraan atau ventilasi alami adalah sebagai berikut:

- a. Tersedianya udara luar yang sehat (bebas dari zat polutan udara)
- b. Suhu udara luar tidak terlalu tinggi (max.28°C)
- c. Tidak banyak bangunan di sekitar yang akan menghalangi aliran udara horizontal
- d. Lingkungan tidak bising.

Jika syarat-syarat tersebut tidak terpenuhi walaupun hanya satu syarat saja tidak terpenuhi maka keberhasilan suatu sistem pengudaraan alami tidak tercapai. Karena sistem pengudaraan alami ini sangat tergantung pada kondisi lingkungan sekitar, maka sistem ventilasi alami mempunyai kelemahan atau sisi negatif yaitu bahwa kita tidak dapat mengatur suhu, kecepatan angin, kelembaban udara lingkungan, gangguan serangga, kebisingan, dan kualitas udara lingkungan.

Tabel 2. 7. Suhu nyaman menurut standar  
Tata Cara Perencanaan Teknik Konservasi Energi pada Bangunan Gedung

	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%

### 2. 3. Arah dan Kecepatan Angin

Pada penjelasan sebelumnya telah diuraikan bahwa kecepatan angin di daerah iklim tropis panas lembab umumnya rendah. Angin yang dibutuhkan untuk keperluan ventilasi (untuk kesehatan dan kenyamanan penghuni di dalam bangunan). Ventilasi adalah proses dimana udara ‘bersih’ (udara luar), dipaksa masuk ke dalam ruang dan sekaligus mendorong udara kotor di dalam ruang ke

luar. Ventilasi dibutuhkan untuk keperluan *supply* oksigen bagi metabolisme tubuh, menghalau polusi udara sebagai hasil proses metabolisme tubuh (CO<sub>2</sub> dan bau) dan kegiatan-kegiatan di dalam bangunan. Untuk kenyamanan, ventilasi berguna dalam proses pendinginan udara dan pencegahan peningkatan kelembaban udara (khususnya di daerah tropik basah), terutama untuk bangunan rumah tinggal. Kebutuhan terhadap ventilasi tergantung pada jumlah manusia serta fungsi bangunan.

Basaria Talarosha (2005:151) menggambarkan posisi bangunan yang melintang terhadap angin primer sangat dibutuhkan untuk pendinginan suhu udara. Jenis, ukuran, dan posisi lobang jendela pada sisi atas dan bawah bangunan dapat meningkatkan efek ventilasi silang (pergerakan udara) di dalam ruang, sehingga penggantian udara panas di dalam ruang dan peningkatan kelembaban udara dapat dihindari.

Menurut SNI 03-6572-2001 mengenai tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung, untuk mempertahankan kondisi nyaman, kecepatan udara yang jatuh diatas kepala sebaiknya lebih kecil dari 0,15 m/detik dan tidak boleh lebih besar dari 0,25 m/detik. Kecepatan udara lebih besar dari 0,25 m/detik masih dapat diterima tergantung dari temperatur udara kering (Tabel 2.8).

Tabel 2. 8. Kecepatan udara dan kesejukan  
Sumber: SNI 03-6572-2001

Kecepatan udara, m/detik.	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35
Temperatur udara kering, °C	25	26,8	26,9	27,1	27,2

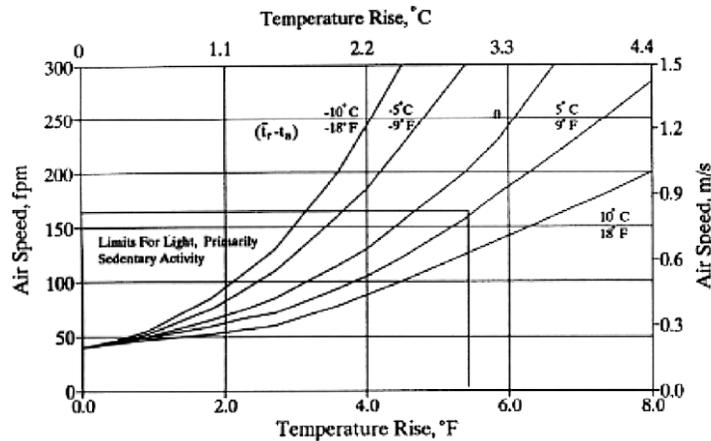
Tabel 2. 9. Pengaruh kecepatan angin pada Manusia  
 Sumber: www.sql.org ( 20 Desember 2014 )

No	Deskripsi	Kecepatan	
		m/s	Km/h
1	Diam	0	0
2	Tidak Terasa	0,1	0,4
3	Sedikit Terasa	0,3	1,0
4	Sepoi – sepoi Tenang	0,5	1,8
5	Sepoi – Sepoi ringan	0,7	2,5
6	Rambu dan kertas bergerak	1	4.0
7	Angin berhembus agak kencang	1,4	5,0
8	Berhembus tak Nyaman	1,7	6,0
9	Berhembus Mengganggu	2,0+	6,5+

Pada suatu area dimana kondisi lingkungan sekitar merupakan kawasan yang padat bangunan, angin tidak dapat mengalir pada arah 90° (frontal tegak lurus jendela). Kondisi bangunan yang rapat mengakibatkan angin yang datang membentuk sudut lancip (kurang dari 90°) terhadap jendela. Kondisi ini disebabkan karena angin memerlukan jarak tempuh setidaknya 6 kali tinggi penghalang yang dilewatinya untuk kembali pada arahnya semula (Koenigsberger, 1973 dalam Mediastika 2002 : 79).

Tabel 2. 10. Klasifikasi kecepatan angin berdasarkan skala Beaufort  
 Sumber: www.windows.ucar.edu ( 20 Desember 2014 )

No.	Kecepatan angin		Macam angin	Indikator di daratan
	(m/s)	(km/jam)		
1.	0,0–0,5	0–1	Reda	Tiap asap tegak
2.	0,6–1,7	2–6	Sepoi-sepoi	Tiang asap miring
3.	1,8–3,3	7–12	Lemah	Daun bergerak
4.	3,4–5,2	13–18	Sedang	Ranting bergerak
5.	5,3–7,4	19–26	Agak keras	Dahan bergerak
6.	7,5–9,8	27–35	Keras	Batang pohon bergerak
7.	9,9–12,4	36–44	Sangat keras	Batang pohon besar bergerak
8.	12,5–15,2	45–54	Ribut	Dahan patah
8.	15,3–18,2	55–65	Ribut hebat	Pohon kecil patah
9.	18,3–21,5	66–77	Badai	Pohon besar tumbang
10.	21,6–25,1	78–90	Badai hebat	Rumah roboh
11.	25,2–29,0	91–104	Taifun	Benda berat berterbangan
12.	>29,0	>105	Taifun hebat	Benda berterbangan sejauh beberapa kilometer



Gambar 2. 4. Hubungan kecepatan angin dan kenaikan temperatur  
Sumber: ASHRAE 55 (2003)

#### 2. 4. Ventilasi Mekanis (*Forced Ventilation*)

Sistem penghawaan buatan atau ventilasi buatan (*Artificial ventilation / Force Ventilation / Mechanical Ventilation*) adalah pengudaraan yang melibatkan peralatan mekanik. Pengudaraan buatan sering juga disebut pengkondisian udara (*Air Conditioning*) yaitu proses perlakuan terhadap udara di dalam bangunan yang meliputi suhu, kelembaban, kecepatan dan arah angin, kebersihan, bau, serta distribusinya untuk menciptakan kenyamanan bagi penghuninya. Pengkondisian udara dengan ventilasi mekanis tidak hanya menurunkan suhu (*cooling*) tetapi juga dapat menaikkan suhu (*heating*). Di daerah iklim tropis lembab yang suhu rata-ratanya cukup tinggi, alat yang digunakan untuk menciptakan kenyamanan termal adalah dengan menggunakan sistem pengudaraan buatan seperti AC.

Widiyananto (2014:6) mengatakan bahwa kipas angin tidak menurunkan suhu udara tetapi hanya menggerakkan udara sehingga bila terkena kulit manusia akan mengalami pendinginan secara psikologis. Pemakaian ventilasi buatan di

dalam ruang harus memenuhi kriteria yaitu: volume pergantian udara minimum yang dihasilkan sebesar 10 - 15 m<sup>3</sup>/jam/orang, dan ventilasi buatan tidak menimbulkan kebisingan. Dasar perencanaan sistem ventilasi mekanis dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu: *supply ventilation system*, *exhaust ventilation system*, dan *supply-exhaust ventilation system*. Pembagian metode sistem ventilasi tersebut didasari prinsip kerja kipas yang akan digunakan.

#### **2.4. 1. *Supply ventilation system***

Prinsip kerja *supply ventilation system* adalah memasukkan udara segar ke dalam ruangan dengan menggunakan kipas. Kecepatan dan banyaknya udara dari luar yang masuk tergantung dari spesifikasi kipas yang digunakan. Pada umumnya *supply ventilation* dipergunakan untuk ruangan yang membutuhkan udara segar atau ruangan yang memerlukan kenaikan tekanan udara untuk mencegah terjadinya infiltrasi.

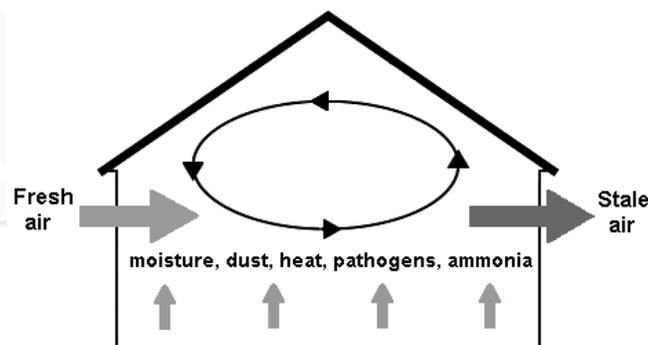
#### **2.4. 2. *Exhaust ventilation system***

Pada *exhaust ventilation system*, prinsip kerja aliran udaranya adalah dengan mengeluarkan udara panas atau kotor dari ruangan dengan menggunakan kipas. Proses pengeluaran udara ini akan mengakibatkan tekanan udara di dalam ruangan turun menjadi lebih kecil, sehingga udara segar dari luar yang memiliki tekanan lebih besar akan masuk ke dalam ruangan melalui ventilasi yang tersedia. Kecepatan dan banyaknya udara keluar tergantung dari kapasitas kipas tersebut. Pada umumnya *exhaust ventilation* dipergunakan untuk ruangan yang mempunyai sumber panas yang mengakibatkan kenaikan pada suhu ruangan dan ruangan yang

terkontaminasi oleh udara kotor serta ruangan yang sulit untuk menerima akses udara segar dari luar.

### 2.4.3. *Supply-exhaustventilation system*

Sistem ini merupakan kombinasi antara *supply ventilation system* dengan *exhaust ventilation system* yaitu untuk memasukkan maupun mengeluarkan udara dengan menggunakan kipas. Penempatan kipas dilakukan sedemikian rupa sehingga udara segar dari luar masuk ke dalam ruangan akan dikeluarkan lagi setelah menjadi panas atau kotor mengalir melalui seluruh ruangan yang diganti udaranya.



Gambar 2. 5. Sistem ventilasi mekanis pada bangunan  
Sumber: H. Huffman, P.Eng.( 2010)

### 2.5. Saluran Udara (*Ducting*) Sistem Ventilasi Mekanis

Saluran udara (*duct*) merupakan salah satu komponen penting dalam perencanaan sistem ventilasi mekanis. Saluran udara berfungsi sebagai media distribusi aliran udara baik dari dalam ruang ke luar bangunan maupun sebaliknya (Burdick, 2011). Sebagai sistem ventilasi mekanis pada bangunan, saluran udara berfungsi sebagai *supply* udara dingin ke ruang yang dikondisikan

(*supply air*), *ducting* yang berfungsi sebagai *supply* udara bersih dari luar dan dapat juga berfungsi untuk membuang udara dari dalam ke luar (*exhaust air*). Pada sistem ventilasi mekanis bentuk saluran udara ini umumnya berinsulasi, dimana insulasi ini bekerja untuk mempertahankan udara dingin yang didistribusikan, sedangkan untuk *ducting fresh air* dan *exhaust air* ini tidak menggunakan insulasi. Ada empat tipe dasar saluran udara yang umumnya diterapkan dalam ventilasi mekanis yaitu, 1) *duct* yang didinginkan oleh air, 2) *duct* yang dibiarkan, 3) *duct stainless-steel*, dan 4) *duct carbon steel*.

## 2. 6. Tingkat Kebisingan pada Saluran Udara

Prinsip perancangan sistem ventilasi mekanis pada dasarnya mengandalkan kecepatan udara yang mengalir melalui saluran udara. Peningkatan kecepatan kipas baik sebagai *supply* udara maupun sistem pembuangan udara (*exhaust*) akan menimbulkan efek kebisingan. Dimensi saluran dan perletakan saluran udara akan mempengaruhi tingkat kebisingan di dalam ruang. Perencanaan awal dalam sistem ventilasi mekanis ini sebaiknya diawali dengan pemilihan kipas yang memiliki tingkat kebisingan (*noise*). Besarnya nilai *noise* dari kipas umumnya dapat diketahui dari spesifikasi kipas yang dikeluarkan produsen, namun langkah awal yang tepat adalah dengan melakukan pengujian lab (Burdick, 2011). Besarnya nilai *Nosie Criteria* (NC) dan pengaruhnya terhadap pengguna ruang dapat dilihat pada tabel 2.9.

Tabel 2. 11. Perbandingan kriteria noise  
Sumber: *Energi Eficiency and Renewable Energy* (Burdick, 2011)

	Communication Environment	Typical Occupancy
--	---------------------------	-------------------

<NC 25	<i>Extremely quiet environment; suppressed speech is quite audible; suitable for acute pickup of all sounds.</i>	<i>Broadcasting studios, concert halls, music rooms.</i>
NC 30	<i>Very quiet office; suitable for large conferences; telephone use satisfactory.</i>	<i>Residences, theaters, libraries, executive offices, director's rooms.</i>
NC 35	<i>Quiet office; satisfactory for conference at a 15-foot table; normal voice 10 to 30 feet; telephone use satisfactory.</i>	<i>Private offices, schools, hotel guestrooms, courtrooms, churches, hospital rooms.</i>
NC 40	<i>Satisfactory for conferences at a 6- to 8-foot table; telephone use satisfactory.</i>	<i>General office, labs, dining rooms.</i>
NC 45	<i>Satisfactory for conferences at a 4- to 5-foot table; normal voice 3 to 6 feet; raised voice 6 to 12 feet; telephone use occasionally difficult.</i>	<i>Retail stores, cafeterias, lobby areas, large drafting and engineering offices, reception areas.</i>
>NC 50	<i>Unsatisfactory for conference of more than two or three persons; normal voice 1 to 2 feet; raised voice 3 to 6 feet; telephone use slightly difficult.</i>	<i>Computer rooms, stenographic pools, print machine rooms.</i>

## 2. 7. Pengurangan Tekanan Akibat Saluran Udara

Aliran udara yang mengalir melalui saluran tertutup akan mengakibatkan terjadinya gesekan antara fluida dan dinding saluran. Gesekan pada saluran udara ini akan menimbulkan kehilangan tekanan aliran udara. Untuk saluran yang dialirkan udara perbedaan ketinggian tidak diperhitungkan, sehingga persamaan Bernoulli mengenai keseimbangan energi mekanik untuk aliran yang inkompresibel (yang diterapkan pada udara yang memiliki kehilangan tekan yang rendah) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g_c} + \eta w = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g_c} + h_f \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :P = Tekanan statis,lbf/ft<sup>2</sup>

$\rho$  = Densitas fluida,lbm/ft<sup>3</sup>

v = Rerata kecepatan linear fluida, ft/sec

$g_c$  = Konstanta gravitasi 32,2lbm-ft/lbf sec<sup>2</sup>

$\eta$  = Efisiensi fan

$w = \text{Fan power, ft-lbf/lbm}$

$h_f = \text{kehilangan tekan akibat gesekan, ft-lbf/lbm}$

Pada penggunaan kecepatan tekanan terkadang dibutuhkan konversi dari kecepatan tekanan menjadi kecepatan potensial. Dalam perencanaan ventilasi udara standar suhu udara ditentukan  $21^\circ\text{C}$ , tekanan 1 atm, dan kelembaban 50%, dengan densitas  $0,075\text{lbm/ft}$  (Arief, 2014), untuk mengubah kecepatan tekanan menjadi kecepatan potensial dapat digunakan persamaan berikut:

$$V = 4005 \sqrt{V_p} \dots\dots\dots(2)$$

dimana,

$V_p = \text{Kecepatan tekanan, in.-H}_2\text{O}$

$V = \text{Kecepatan udara, ft/min}$

4005 = Konstanta perubahan kehilangan tekan menjadi kecepatan udara (ft/min)

Pada saluran ventilasi pengurangan tekanan udara yang melalui saluran diakibatkan adanya gesekan per unit satuan panjangnya. Koefisien pengurangan tekanan ini bergantung pada bentuk dan rasio penurunan per satuan panjangnya.

Besarnya nilai pengurangan tekanan ini dapat dihitung dengan persamaan berikut ini

$$H_f = a \frac{V^b}{Q^c} \dots\dots\dots(3)$$

dimana,

$H_f = \text{Kehilangan tekanan akibat gesekan (in.WG)}$

$V = \text{Kecepatan aliran dalam duct (fpm)}$

$Q = \text{Debit udara (cfm)}$

$a, b, c = \text{Nilai Konstanta (Tabel 2.12)}$

Tabel 2. 12. Nilai koefisien a,b dan c untuk berbagai material *duct*  
 Sumber : (Arief, 2014)

<b>Material duct</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
<i>Galvanized</i>	0,0307	0,533	0,612
<i>Black iron, Alumunium, PVC, stainless steel</i>	0,0425	0,465	0,602

## 2. 8. Perancangan Sistem Ventilasi Mekanis

Dalam perancangan sistem ventilasi mekanis, beberapa langkah yang dapat dilakukan dalam perancangan adalah sebagai berikut:

- a. Perancangan komponen fisik ventilasi mekanis
  - Menentukan kebutuhan udara ventilasi yang diperlukan sesuai fungsi rencana ruang.
  - Menentukan Kapasitas kipas.
  - Merencanakan sistem distribusi udara, baik menggunakan saluran udara (*ducting*) maupun kondisi kipas yang dipasang di dinding / atap.
- b. Menentukan jumlah laju aliran udara yang diperlukan sesuai dengan persyaratan kebutuhan udara luar.
- c. Untuk memperoleh nilai kalor yang terjadi didalam ruangan, diperlukan kecepatan udara dengan jumlah tertentu agar temperatur udara di dalam ruangan dapat terjaga. Besarnya kecepatan aliran udara (V) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V = \frac{q}{f.c (tL - tD)} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :  $V$  = Kecepatan aliran udara ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$q$  = Perolehan kalor (watt)

$f$  = Densitas Udara ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$c$  = Panas udara ( $\text{joule}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ )

$(t_L-t_D)$  = Kenaikan temperatur terhadap udara luar ( $^\circ\text{C}$ )

### 2. 9. Kipas (*Fan*)

Kipas adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menghasilkan aliran pada fluida gas seperti udara. Kipas memiliki fungsi yang berbeda dengan kompresor sekalipun media kerjanya sama, dimana kipas menghasilkan aliran fluida dengan debit aliran yang besar pada tekanan rendah, sedangkan kompresor menghasilkan debit aliran yang rendah namun menghasilkan tekanan kerja yang tinggi. Kipas banyak diaplikasikan untuk kenyamanan ruangan (kipas meja/dinding), sistem pendingin pada kendaraan atau sistem permesinan, ventilasi, penyedot debu, sistem pengering (dikombinasikan dengan *heater*), membuang gas-gas berbahaya, dan juga *supply* udara untuk proses pembakaran (seperti pada boiler).

Karakter kipas ditentukan oleh kurva tekanan pada aliran udara. Pada sistem ventilasi mekanik kipas berperan memaksa terjadinya pertukaran udara dari dalam ruang ke luar ruang pada bangunan. Menurut Cheng(2008), bila menggunakan kipas, kisaran suhu yang diperoleh dari investigasi langsung dan tidak langsung adalah  $28,2^\circ\text{C}$  dan  $27,2^\circ\text{C}$ . Perpindahan panas konvektif yang menciptakan distribusi suhu yang hampir sama diseluruh ruangan berasal dari sirkulasi dengan memakai kipas (Ho, C.J. dan C.C.Lin, 2006).

## 2. 10 . Jenis-jenis Kipas

Kipas (*fan*) dibagi menjadi dua jenis, yaitu kipas sentrifugal menggunakan impeler berputar untuk menggerakkan aliran udara dan kipas aksial menggerakkan aliran udara sepanjang sumbu kipas.

### a. Kipas sentrifugal

Kipas sentrifugal meningkatkan kecepatan aliran udara dengan impeler berputar. Kecepatan meningkat sampai mencapai ujung *blades* dan kemudian diubah menjadi tekanan. Kipas jenis ini mampu menghasilkan tekanan tinggi dan tepat untuk kondisi operasi yang kasar, seperti sistem dengan suhu tinggi, aliran udara kotor atau lembab. Kipas sentrifugal dikategorikan oleh bentuk bilah kipas sebagaimana diringkaskan dalam tabel 2.12.

Tabel 2. 13. Karakteristik berbagai *fan sentrifugal*  
Sumber: US DOE, ( 1989)

Jenis <i>fan</i> dan <i>blade</i>	Keuntungan	Kerugian
<p><i>Fan</i> radial dengan <i>blades</i> datar</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digunakan untuk tekanan statis tinggi (sampai 1400 mmWC) dan suhu tinggi</li> <li>• Model yang sederhana, dapat dipakai untuk unit penggunaan khusus</li> <li>• Dapat beroperasi pada aliran udara yang rendah tanpa masalah getaran</li> <li>• Efisiensinya dapat mencapai 75%</li> <li>• Memiliki jarak ruang kerja yang lebih besar yang berguna untuk <i>handling</i> padatan yang terbang (debu, serpih kayu, dan skrap logam)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Digunakan untuk laju aliran udara rendah sampai medium</li> </ul>

<p><i>Fan yang melengkung kedepan, dengan blade yang melengkung kedepan</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat menggerakkan udara yang besar dengantekanan yang relatif rendah</li> <li>• Ukurannya relatif kecil</li> <li>• Tingkat kebisingannya rendah (disebabkan rendahnya kecepatan) umumnya digunakan untuk pemanasan perumahan, ventilasi, dan penyejuk udara (HVAC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih tepat untuk layanan penggunaan yang bersih, bukan untuk layanan kasar dan bertekanan tinggi</li> <li>• Keluaran <i>fan</i> sulit untuk diatur secara tepat</li> <li>• kurva daya meningkat sejalan dengan aliran udara</li> <li>• Efisiensi energinya relatif rendah (55-65%)</li> </ul>
<p><i>Backward inclined fan, dengan blades yang miring jauh dari arah perputaran: datar, lengkung.</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dapat beroperasi dengan perubahan tekanan statis (asalkan bebannya tidak berlebih ke motor)</li> <li>• Tepat untuk sistem yang tidak menentu pada aliran udara tinggi</li> <li>• Cocok untuk layanan <i>forced-draft</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak cocok untuk aliran udara yang kotor (karena bentuk <i>fan</i> mendukung terjadinya penumpukan debu)</li> <li>• <i>Fan</i> dengan <i>blades air-foil</i> kurang stabil</li> </ul>

#### b. Kipas aksial

Kipas aksial bekerja dengan cara menggerakkan aliran udara sepanjang sumbu kipas. Prinsip kerja kipas ini seperti baling - baling pada pesawat terbang, *blades* kipas menghasilkan pengangkatan aerodinamis yang menekan udara. Menurut Aynsley(2007) Kipas aksial menghemat energi antara 9-12 % dibandingkan sistem pendingin AC dengan periode panas pada kecepatan aliran udara 3 m/s. Kipas ini terkenal di industri karena harganya murah, bentuknya yang kompak dan ringan. Jenis utama kipas dengan aliran aksial (impeler, pipa aksial dan impeler aksial) dapat dilihat pada tabel 2.13.

Tabel 2. 14. Karakteristik berbagai fan aksial  
 Sumber: US DOE, (1989)

Jenis fan	Keuntungan	Kerugian
Fan propeller 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menghasilkan laju aliran udara yang tinggi pada tekanan rendah</li> <li>• Tidak membutuhkan saluran kerja yang luas (sebab tekanan yang dihasilkannya kecil)</li> <li>• Murah sebab konstruksinya yang sederhana</li> <li>• Mencapai efisiensi maksimum, hampir seperti aliran yang mengalir sendiri, dan sering digunakan pada ventilasi atap</li> <li>• Dapat menghasilkan aliran dengan arah berlawanan, yang membantu dalam penggunaan ventilasi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efisiensi energinya relatif rendah</li> <li>• Agak berisik</li> </ul>
Fan pipa aksial, fan propeler yang diletakkan dalam silinder 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tekanan lebih tinggi dan efisiensi operasinya lebih baik daripada fan propeller</li> <li>• Lebih tepat untuk tekanan menengah, penggunaan laju aliran udara yang tinggi, misalnya pemasangan saluran HVAC</li> <li>• Dapat dengan cepat dipercepat sampai ke nilai kecepatan tertentu (karena putaran massanya rendah) dan menghasilkan aliran pada arah berlawanan, yang berguna dalam berbagai penggunaan ventilasi</li> <li>• Menciptakan tekanan yang cukup untuk mengatasi kehilangan di saluran</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatif mahal</li> <li>• Kebisingan aliran udara sedang</li> <li>• Efisiensi energinya relatif rendah (65%)</li> </ul>
Fan dengan baling-baling aksial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih tepat untuk penggunaan tekanan sedang sampai tinggi (500 mmWC), seperti induced draft untuk pembuangan boiler</li> <li>• Mudah dipercepat sampai ke nilai kecepatan tertentu (disebabkan putaran massanya yang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatif mahal dibanding fan impeler</li> </ul>

	<p>rendah) dan menghasilkan aliran pada arah berlawanan, yang berguna dalam berbagai penggunaan ventilasi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energinya efisien (mencapai 85% jika dilengkapi dengan <i>fanairfoil</i> dan jarak ruang yang kecil)</li> </ul>	
---	--	--

### 2. 11 . *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

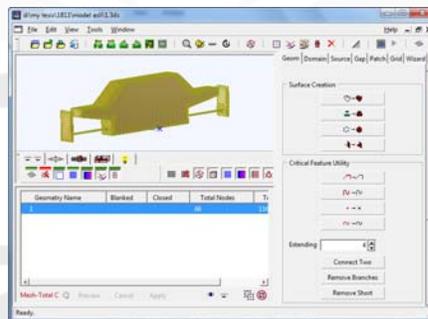
CFD (*Computational Fluid Dynamics*) adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk menganalisa aliran fluida, perpindahan kalor dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia. Dengan perangkat simulasi CFD ini, hasil penelitian mengenai aliran fluida dan perpindahan kalor tidak perlu untuk dilakukan pengujian secara aktual. Pada penelitian ini digunakan perangkat lunak CFD yang dikembangkan oleh perusahaan *ESI US R&D, Inc.* Peranan perangkat lunak ini memiliki banyak keunggulan, beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari CFD ini yaitu:

- a. Dapat mengurangi waktu dan biaya pada perancangan
- b. Dapat melakukan percobaan yang dirasa sulit untuk dilakukan jika menggunakan percobaan secara fisik,
- c. Meminimalkan resiko jika percobaan yang secara fisik dapat membahayakan

CFD merupakan perangkat yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan fluida secara numerik, dimana permasalahan/ pengujian yang membutuhkan pemecahan dengan dengan aritmatik tidak dapat dihitung dengan

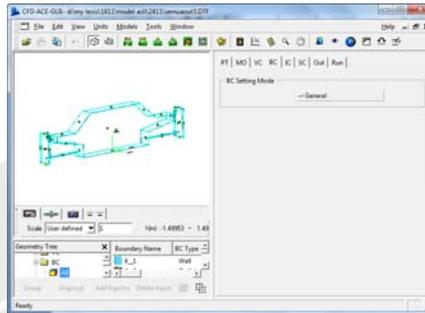
analisa eksak. Metode numerik menghasilkan nilai perkiraan (tidak eksak tepat), kepresisian hasil bergantung pada nilai error yang sekecil-kecilnya. Prosesnya menggunakan metode hitung iterasi sehingga akan lebih efektif apabila didukung dengan komputer. Beberapa tahapan yang dilakukan sebelum melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

- a. *Pre - Processor* → Tahapan ini merupakan tahap pendefinisian geometri benda kerja yang akan dianalisa. Pada tahapan ini model akan berikan parameter fluida yang akan digunakan sebagai input awal seperti, massa jenis, kecepatan, dan komponen fluida lain yang berhubungan dengan percobaan. Pada penelitian ini digunakan modul CFD – VISCART yang berfungsi membangun *mesh* pada model.



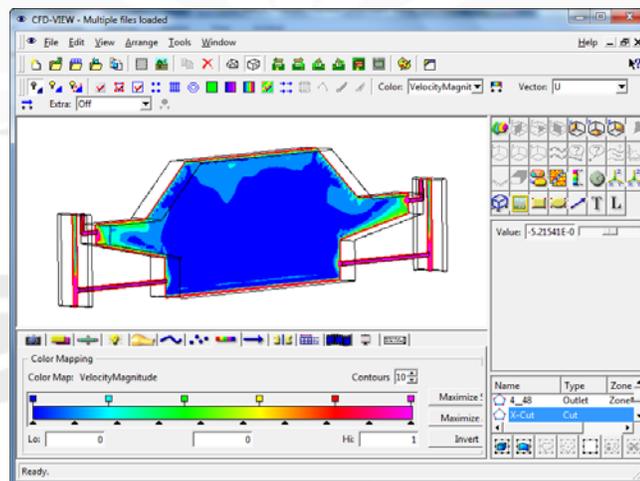
Gambar 2. 6. Tampilan awal CFD – VISCART ver 2004  
Sumber: ESI US R&D

- b. *Solver* → Pada tahapan ini, Komputer akan melakukan perhitungan terhadap data – data yang telah dimasukkan kedalam parameter *input*. *Solver* dilakukan dengan proses iterasi sampai hasil perhitungan membentuk kurva konvergen. Tahapan ini disebut juga sebagai proses *running*.



Gambar 2. 7. Tampilan awal CFD – ACE ver 2004  
Sumber: ESI US R&D

- c. *Post – Processor* → Tahapan ini akan menunjukkan hasil perhitungan simulasi. Hasil perhitungan ditunjukkan sebagai plot grafik gambar potongan, arah pola aliran dan lainnya.



Gambar 2. 8. Tampilan awal CFD – VIEW ver 2004  
Sumber: ESI US R&D