BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1.Kenyamanan Termal Ruang di Iklim Tropis

Menurut ASHRAE (2004:2), kenyamanan termal adalah kondisi pikiran yang mengungkapkan kepuasan terhadap lingkungan termal dan dinilai atau dievaluasi secara subyektif. Definisi yang senada diberikan ISO 7730(1994: 5),yang menyatakan kenyamanan termal adalah kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal.

Selain kenyamanan termal, maka dikenal juga istilah ketidakpuasan termal yaitu suatu kondisi ketidakpuasan yang disebabkan oleh terlalu dingin atau panasnya suhu yang mengena tubuh manusia yang diukur dengan indikator PMV (*predicted mean vote*) dan PPD (*predicted percentage of dissatisfied*). Selain itu ketidakpuasan termal juga dapat disebabkan oleh *draft effect*, temperatur gradien vertikal yang tinggi, tingginya metabolisme dan juga pakaian yang dikenakan.

Lingkungantermal yang diterima (*acceptable thermal environment*) adalah lingkungan, yang setidaknya 80% daripenghuni menerima kondisi termal yang ada. Standar dan kriteria kenyamanan termal berbeda-beda sesuai dengan iklim setempat (dan juga preferensi pengguna).

Ada beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk menyelidiki kenyamanan termal di daerah tropis diantaranya seperti yang pernah dilakukan

oleh Webb (1950). Dua puluh orang dilibatkan sebagai responden. Parameter penelitian yang dipakai diantaranya suhu udara, tekanan uap air dan kecepatan udara. Berdasarkan parameter ini, maka diasumsikan jika kecepatan udara yang ideal di dalam ruangan yaitu 0,2 m/s dengan kelembapan relatif 70 % maka ketidaknyamanan penghuni berada pada rentang minimum $28{,}86^{0}$C.

Studikenyamanan termal lain dilakukan oleh Ellis (1953) yang meneliti tentang respon termal dari 34 orang Eropa dan 100 orang Asia yang tinggal di Singapura. Dia menemukan bahwa kenyamanan termal tidak dipengaruhi oleh perbedaan ras, jenis kelamin, dan usia. Dengan kata lain, jika orang Eropa dan Asia ditempatkan pada sebuah ruang yang sama, maka mereka akan merasa nyaman pada tingkat suhu yang sama pula.

Fountain dkk (1996), menemukan bahwa penilaiankenyamanantidak hanyadidasarkan padasensasitermal,tetapi (dalam batas tertentu) juga pada faktor-faktornonfisiologis lainnya, seperti harapan dan latar belakangemosional. Disaat yang sama Wong dkk (2002), menemukan bahwa ada kecenderunganbagi penghuni bangunan yang memakai ventilasi alami dalam memahami sensasidingin(kesejukan) sebagai suhu yang nyaman.

Berikut yaitu beberapa studi perbandingan tentang kenyamanan termal dan hasilnya:

Tabel 2.1: Beberapa penelitian tentang kenyamanan termal di iklim tropis

Peneliti (Judul)	**Thn**	**Lokasi**	**Type**	**Penemuan**
P.F. Hu, W. Liu,.& Z.N. Jiang (*Study on indoor thermal sensation of young college students in the area which is hot in summer and cold in winter*)	2007	Laboratorium dan ruang kelas di China	AC	Suhu netral pada laboratorium di musim panas yaitu 27°C. Sedangkan dikelas yaitu 22°C. Rentang waktu suhu yang diterima oleh 80% penghuni ruang berada pada 26,6 – 28,6°C (laboratorium) dan 18,4 – 26,2°C (untuk ruang kelas)
Ruey L.H.,Ming,J,C (*Field survei on human thermal comfort reports in air-conditioned offices in taiwan*)	2007	Kantor, Taiwan	AC	Suhu netral dan preferensi pengguna yaitu 25,6°C dan 24,1°C.
Feriadi,dkk (*Adaptive behaviour and TC in Singapore*)	2001	Perumahan, Singapura	NV	Suhu netral 29,3°C (ET) atau 28,6°C (OP)
Khedari,dkk (*Thailand ventilation comfort chart*)	1999	Ruang kelas, Bangkok	NV	Suhu netral 28°C dengan kecepatan udara 0,2 m/s
Karyono (*Report on thermal comfort & building energy studies in Jakarta-Indonesia*)	1998	Kantor, Jakarta-Indonesia	AC dan NV	Suhu netral antara AC dan NV berada pada 26,7°C (OP)
Veronica I. S & Siti H. (*Thermal comfort study In a naturally Ventilated residential building In a tropical hot-humid climate region*)	1997	Depok-Indonesia	NV	Penghuni merasa suhu netral ketika operative temperature berada pada suhu 27°C. Penghuni masih mentoleransi suhu yang lebih panas (maksimal 29°C)
Tri Harso Karyono (Penelitian kenyamanan termis di jakarta sebagai Acuan suhu nyaman manusia indonesia)	1993	Bangunan tinggi, Jakarta	AC	Merasa nyaman pada suhu udara (Ta) 26,4°C atau suhu operasi (To) 26,7°C. Sementara rentang nyaman antara 24,9 hingga 28° (Ta) dan 25,1 hingga 27,9 (To).

Ket: To = OP : *Operative temperature*, Ta = ET :*Effective temperature*

Studi oleh Feriadi dkk (2003)menemukan bahwa ada perbedaan antara suhu netral dan suhu yang disukai penghuni di daerah tropis. Di daerah tropis lembap orang lebih suka kondisi suhu yang dingin (25,1°C). Hal ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan kondisi suhu netral (29,3°C).Temuan inimenyiratkan bahwasuhunetraltelahditafsirkanoleh orang-orangdi daerah tropissebagaisuhu yang dapat diterimameskipun merekaharusmenggunakan(mengoptimalkan) beberapa hal(seperti menggunakan kipas angin,membukajendela dan mengubahpakaian) untuk membuat mereka merasa nyaman secara termal. Secara singkat dapat diuraikan sebagai berikut:

a) Orang yang tinggaldi iklim tropis mempertimbangkansensasidingin sebagai area yang nyaman. Mereka lebih menyukai suhu yang lebih rendah dibawah suhu netral.
b) Untuk mencapai kepuasan pengguna sampai 80%, dicapai dengan cara mempertahankan suhu pada batas minimum 25,1°Cdan maksimum 28°C (ET: *Effective temperature*).

Tabel 2.2: Aktivitas dan kecepatan metabolisme

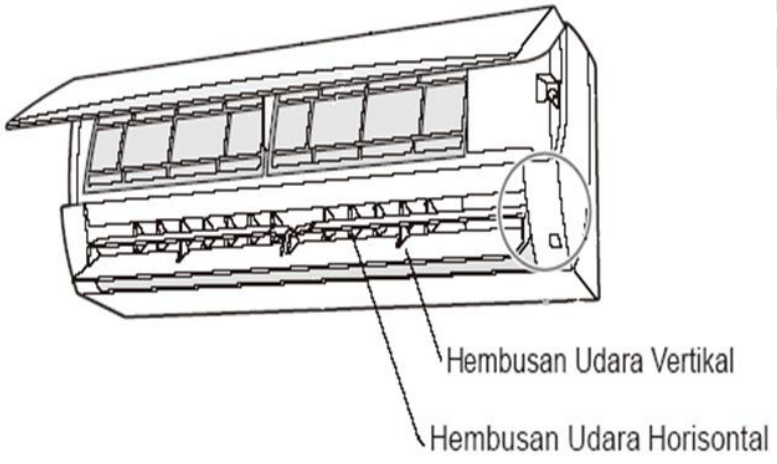
No.	Aktivitas	Met	Watt/m^2
1.	Berbaring	0,8	46
2.	Duduk tenang	1,0	58
3.	Tukang jam	1,1	65
4.	Berdiri santai	1,2	70
5.	Aktivitas biasa (kantor, sekolah,dll)	1,2	70
6.	Berdiri,aktivitas ringan (belanja, lab)	1,6	93
7.	Guru, mengajar di depan kelas	1,6	95
8.	Olahraga – lari 15 km/jam	9,5	550

Sumber: Satwiko,P (2008)

Menurut Satwiko dalam Fisika bangunan (2008:9),di daerah tropis lembap seperti di Indonesia syarat suatu keadaan dinyatakan nyaman secara termal yaitu jika berada pada batas $24^0C < T < 26^0C$, 40 % < RH < 60 %, 0,6 m/s < V < 1,5 m/s, pakaian ringan dan selapis dan kegiatan santai tenang.

2.2. Angin dan Perilakunya

Salah satu sifat penting dari aliran angin yaitu ia dapat ditangkap dan diarahkan.Ada berbagai elemen dan desain yang digunakan untuk menangkap dan mengarahkan angin. Pada eksterior bangunan kita mengenal ada '*badgir*' yaitu desain penangkap angin pada bangunan-bangunan vernakular di Iran (Maleki, 2011). Pada interior maka yang harus diperhatikan yaitu pengarah hembusan udara dari sumber-sumber penghasilnya, diantaranya AC dan kipas angin. Berikut merupakan salah satu jenis pengarah hembusan udara pada AC *mixing*:



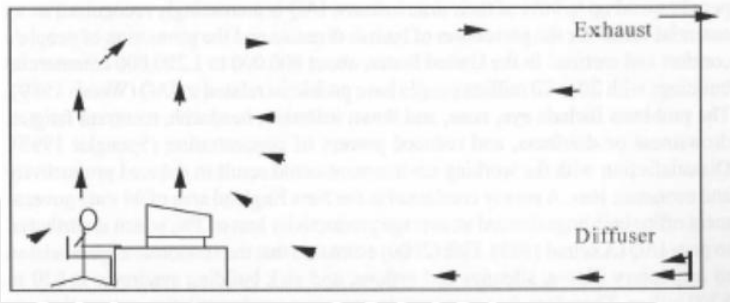
Gambar 2.1: Pengarah hembusan udara pada AC mixing
Sumber: http://cs.sharp-indonesia.com

Pengarah angin ini menjadi penting, terutama pada AC *displacement* karena jika udara yang keluar dari *diffuser* langsung mengenai tubuh dengan kecepatan di atas 0,25 m/s(suhu <20°C) maka *draft effect* akan sangat terasa.Selain itu kegunaan lain dari pengarah hembusan udara ini diantaranyaagar ruang-ruang seperti jalur sirkulasi tidak menjadi lebih dulu untuk dilalui udara sejuk pada menit-menit awal, agar waktu penyejukan menjadi lebih cepat di daerah hunian.

2.3. *Displacement Ventilation(DV)*

2.3.1. Pengertian

Displacement Ventilation (DV) atau *displacement AC*adalah salah satu konsep pengondisian udara dan ventilasi dalam gedung dimana udara sejuk dipasokdengan kecepatan rendah (0,15–0,38 m/s lewat *inlet* (*diffuser*) yang terletak dilantai atau area dekat lantai.Bekerja berdasarkan prinsip *buoyancy "displacement*", dimana udara sejuk menyebar dengan perlahan ke atas lantai dan mengangkat udara panas beserta polutan keatas plafon kemudianakan dikeluarkan lewat *outlet*. Sistem ini cukup umum digunakan di Skandinavia sejak 1978 (Hamilton dkk, 2004)



Gambar 2.1: Ilustrasi cara kerja *displacement ventilation*

Sumber: Chen & Glickman:2003

Perbedaan suhu antara pasokan (*diffuser/inlet*) dan pembuangan udara (*exhaust/outlet*) berada pada rentang 5 sampai 12°C. Secara normal akan ada dua perbedaan zona suhu secara vertikal, yaitu zona hunian/zona manusia (<1,8 m di atas lantai) dan zona kontaminasi (>1,8 m di atas lantai). Oleh sebab itu, maka sistem DV dapat memberikan kenyamanan dengan menyediakan kualitas udara yang lebih tinggi (dibandingkan dengan sistem konvensional atau *mixingAC*) di zona hunian (bandingkan dengan sistem kerjanya yang mengangkat polutan dan udara panas ke atas ruangan).Sistem DV ini sangat cocok untuk diterapkan pada situasi-situasi berikut:

a) Tingkataliran udaraper unitluas lantai yang tinggi(seperti dalam lobi,bioskop,danruang konferensi)
b) Ruangan dengan plafon yang tinggi (di atas 3 m),
c) Aplikasi yang membutuhkan aliran udara yang terarah (tanpa ada penghalang),

d) Ruang dengan kontaminasi atau polutan yang tinggi, seperti ruang merokok dan industri.

Ada beberapa hal penting yang harus diperhatikan ketika akan memakai sistem DV, diantaranya seperti tampak pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.3: Kriteria penerapan DV dalam ruangan

No	**Kriteria DV**	**Best suited**	**Less suited**
1.	*Ventilation rate*	Direkomendasikan untuk ruang dengan tingkat kontaminasi udara yang tinggi	Jika tingkataliran udararendah, maka *chilled beams* direkomendasikan untuk dipakai
2.	*Space height*	Efektif bekerja pada ruang dengan ketinggian > 3 m	Jika tinggi ruang < 3 m, maka tidak banyak keuntungan yang didapat dibandingkan dengan sistem mixing.
3.	*Supply air temperature*	Suhuudarapasokandapat disesuaikan.	Aplikasi *low supply air* untuk mencapai kenyamanan.
4.	*Space constraints for supply unit*	Unit-unit*diffuser*dapat diintegrasikanke dalam struktur(dinding,tertutup olehpaneldekoratif) atau kolom.Sebuah unit suplaibisa menjadielemen visualdiruang kamar-misalnya,dipasang ditengah-tengah lantai.	*Diffuser* harus dianalisis dengan cermat untuk memastikan penyejukan dapat mencapai keseluruhan ruang.

Sumber: *Halton company*

Banyak penelitian yang mengangkat tentang DV dari segala aspeknya.Salah satunya,oleh Yu dkk (2005) yang meneliti tentanghubungan antara sistem DV dengan kenyamanan{*overall thermal comfort*(OTC),*local thermal comfort*(LTC),*overall thermal sensation* (OTS),*local thermal sensation* (LTS), gradien temperatur ruang, dan *draft effect*}.Penelitian ini

dilakukan pada ruang uji (*Field Environment Chamber*) di Universitas Nasional Singapura.Ada beberapa temuan penting diantaranya *overall thermal sensation* (OTS)memilikidampak yang besar terhadap persentase ketidakpuasan secara keseluruhan (*percentage dissatisfied of overall body*-PDO) dalam ruangan.PadaOTSdingin danagak hangat{lihat skala ASHRAE-(-3) dingin,(-2)sejuk,(-1)agak sejuk,(0) netral,(+1) agak hangat,(+2) hangatdan (+3)panas)},pengaruh gradien temperatur tidak begitu besar.PadaOTSnetral,nilaiPDOmenurunseiring dengan meningkatnyasuhu ruangan(pada ruangan dengan suhu 23°C -26°C nilai PDO yaitu 0 % di gradien temperatur 1,3-5°C). Nilai PDO pada OTS netral meningkat (dengan naiknya gradien temperatur)hanya terjadi ketika suhu ruangan sangat rendah (20°C).Selain nilai PDO,maka ditemukan juga bahwa nilai *local percentage dissatisfied* (LPD) dari segmen tubuh bagian atas dan bawah tidak dipengaruhioleh gradien temperatur (pada OTS netral dan dingin).Untuk OTS (netral) nilai LPD di bagian tubuh atas (kecuali tangan) berada pada kisaran 0–3,3%. Sedangkan pada tangan nilai LPD-nya berada dikisaran20-30%,6,7-10% dan0-3,3% pada suhu ruangan20°C,23°Cdan26°C,berturut-turut.Hal ini menunjukkan bahwaLPDdi tanganmeningkatseiring denganpenurunansuhu ruangan.Serupa denganLPDsegmentubuh bagian atas,LPDsegmentubuhyang lebih rendahsecara signifikan juga dipengaruhi olehOTS (suhu ruangan).

Nilai *percentage dissatisfied*(PD) dari setiap segmen secara signifikan tidak dipengaruhi oleh gradien temperatur. Sebaliknya, nilai PD tergantung dari suhu ruangan.Selain itu,ditemukan juga bahwa meskipun persentase *overall thermal comfort* (OTC) tinggi,tidak menjamin nilai *local thermal comfort* (LTC) juga tinggi.Hal ini berimplikasi pada sistem dan desain DV dimana suhu udara ruangan, gradien temperatur dan sensasi termal penghuni perlu diperhitungkan secara menyeluruh.

2.3.2.Jenis-jenis *diffuserdisplacement AC*

Salah satu kelebihan dari sistem d*isplacement AC*yaitu penempatan *diffuser*nya yang dapat diintegrasikan dengan desain interior ruang. Berikut yaitu beberapa jenis *diffuserdisplacement AC* yang ada di pasar:

a) *Corner diffuser* : diletakan di sudut ruang, pasokan udara dialirkan ke atas unit melewati *duct* yang tersembunyi. Cocok digunakan diruangan kelas.
b) *Half-round 180^0 diffuser*: diletakan disepanjang dinding interior.
c) *Freestanding 360° Circular Diffuser*: diletakan pada interior yang luas. Jenis ini memungkinkan untuk dialirkan udara dengan kecepatan maksimal tanpa menciptakan efek *draft*. Pasokan udara dapat dikeluarkan lewat atas atau bawah unit.
d) *Recessed Rectangular Diffuse*: Dapat diletakan menyatu dengan dinding untuk memaksimalkan ruang.

e) *Plenum diffuser*: *Diffuser*persegi panjang, dapat diletakan menyatu dengan bidang kerja atau tangga maupun tribun.

Gambar 2.2: Jenis-jenis *diffuser displacement AC*

Sumber: *Halton Company*, *Price HVAC*(2012)

Gambar 2.3: Jenis*diffuserdisplacement AC* lantai (*swirl diffuser*)

Sumber: Krantz system,UK

Berikut yaitu tabel yang menunjukan ukuran salah satu jenis *diffuser*dipasaran (360° *circular diffuser*):

Tabel 2.4: Contoh ukuran *diffuser* di pasaran

Tinggi diffuser (cm)	**Diameter (cm)**
20	15
25	20
30	25
40	30
50	35
60	40
80	50

Sumber: *Halton Company*

2.3.3. Keuntungan dan kerugian displacement AC

1.Keuntungan

Ada banyak keuntungan dari sistem DV, diantaranya memiliki kualitas udara yang lebih tinggi (Chen & Glicksman,2003)lebih mengefisiensi penggunaan energi sehingga dapat menurunkan biaya untuk penyejukan (Hu dkk,1999) memiliki efektivitas ventilasi yang

lebih tinggi(Zhang dkk, 2009).Selain itu, keuntungan lainnya yaitu energi penyejukan dan kapasitas permintaan yang lebih rendah untuk mempertahankan kondisi termal yang sama pada zona hunian (*occupied zone*), periode penyejukan masih tetap bertahan lama ketika mesin AC dimatikan, kualitas udara ruang dalam zona hunian lebih baik,dan tidak bising.

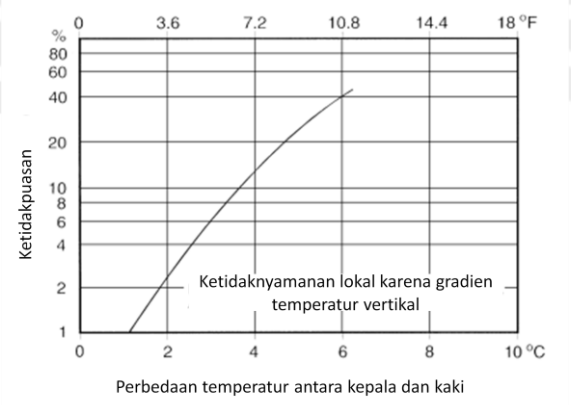
2.Kerugian

Kerugian dari sistem DV yaitu menyebabkan ketidaknyamanan yang disebabkan oleh *draft effect* dan perbedaan temperatur vertikal (pada suhu rendah).Untuk mengatasi masalah ini maka kecepatan udara dan suhu ruanganharus diperhatikan.

- ***Draft effect***adalah penyejukan konvektif lokal yang tidak diinginkan pada bagian tubuh sebagai akibat dari pergerakan udara. Dibandingkan dengan orang yang memiliki aktivitas tinggi, efek *draft* lebih terasa pada orang yang hanya duduk.Menurut ASHRAE (2004), faktor utama yang mempengaruhi efek *draft*yaitu temperatur dan kecepatan udara, intensitas turbulensi, bagian tubuh yang terekspos dan nilai insulasi pakaian yang dikenakan serta kenyamanan termal ruang secara keseluruhan. Semakin rendah suhu dan semakin tinggi aliran udara maka persentase ketidakpuasan karena efek *draft*

semakin besar (Schiavondkk, 2014). Pada suhu 20ºC dengan kecepatan udara 2 m/s maka persentase ketidakpuasan berkisar antara 20-30%, sedangkan pada suhu 26°C persentase ketidakpuasan hanya berada pada 0-3,3% (Yu dkk,2005).Hal ini menandakan bahwa efek *draft* akan lebih menonjol pada suhu ruangan yang rendah.Selain itu efek *draft*juga akan lebih terasa pada orang yang duduk diam (tanpa aktivitas) dan pada suhu kamar netral dibandingkan dengan orang yang aktif bergerak dan pada suhu ruangan panas (ISO 7730,1994).

- **Gradient temperatur udara vertikal** adalah perbedaan suhu yang mengakibatkan suhu di area kepala lebih hangat dibandingkan dengan di kaki. Gambar 2.4 menunjukan persentase tingkat kepuasan penghuni terhadap perbedaan temperatur udara kepala (yang lebih hangat) dengan kaki.



Gambar 2.4: Ketidaknyamanan termal lokal oleh gradien temperatur vertikal

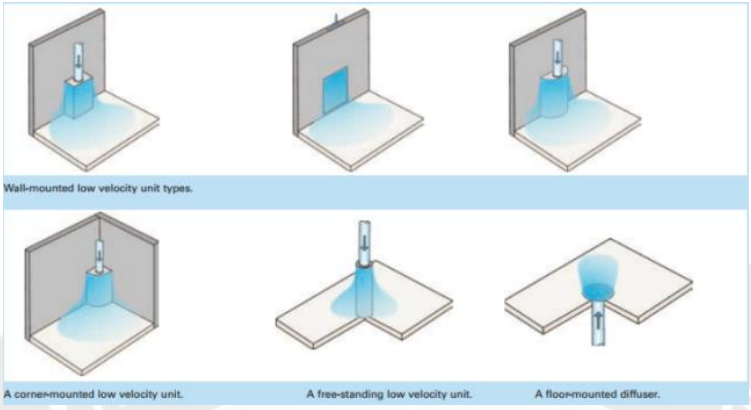
Sumber: ASHRAE 55-2004

Dari gambar di atas, maka diambil kesimpulan bawah perbedaan suhu antara kepala dan kaki harus < 3^0 C (untuk mencapai tingkat ketidakpuasan <10%).

MenurutISO 7730 (1994), kecepatan udara dalam area hunian (*occupied zone*) harus dibawah 0,25 m/s dengan temperatur gradien vertikalnya kurang dari 3^0C untuk perbedaan antara pergelangan kaki (0,1 m) dan kepala (1,8 m). Walaupun begitu, penelitian oleh Yu dkk (2005),menemukan bahwa ketidakpuasan karena gradien temperatur vertikal hanya terjadi pada ruangan dengan suhu yang rendah (< 20°C).

- **Biaya**

Menurut Burt (2007), sistem DV menghabiskan biaya yang lebih tinggi {(±5-17 % ($1-$5 /m2)}dibandingkan sistem konvensional untuk pemasangan awal.Burt mengadakan penelitian di Florida (iklim panas lembap).Disamping itu, jika memakai penyejukan tambahan maka biaya awal bisa mencapai $20-$50/m^2. Biaya ini dapat dikembalikan (karena proses pemakaiannya yang lebih hemat energi) dalam waktu 3-20 tahun tergantung dari iklim setempat.



Gambar 2.5: Tipe-tipe pemasangan DV

Sumber: *Halton company*

2.3.4.Konservasi energi listrik

Menurut permen ESDM RI no.13 tahun 2012 tentang penghematan pemakaian energi listrik,cara-cara penghematan pemakaian energi listrik untuk bidang ACyaitu:

1. Menggunakan AC hemat energi (berteknologi *inverter*) dengan daya sesuai dengan besarnya ruangan.
2. Menggunakan *refrigerant* jenis hidrokarbon
3. Menempatkan unit kompresor AC pada lokasi yang tidak terkena langsung sinar matahari
4. Mematikan AC jika ruangan tidak digunakan.
5. Memasang thermometer ruangan untuk memantau suhu ruangan (*optimum start*)

6. Mengatur suhu dan kelembapan relatif sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu:
    a) Suhu ruang kerja berkisar antara 24ºC sampai 27ºC dengan kelembapan relatif antara 55 % sampai 65 %.
    b) Suhu ruang transit berkisar antara 27ºC sampai 30ºC dengan kelembapan relatif antara 50 % sampai 70 %.
7. Memastikan agar ruang tempat AC harus memiliki nilai insulasi yang bagus agar udara tidak bocor keluar.
8. Melakukan perawatan secara berkala sesuai dengan panduan pabrikan.

2.3.5 Optimum Start

*Optimumstart*AC yaitu teknologiyang sering digunakanterutamapada bangunan komersial(Murphy (2012) dalam Yang dkk,2003).Pada saat suhu ruang disyaratkan berada pada suhu 25°C maka ketika AC sudah mencapai suhu itu, maka proses penyejukan akan berhenti dengan sendirinya.Gambar dibawah ini menunjukan ilustrasi dari *optimum start* (dan *stop*):

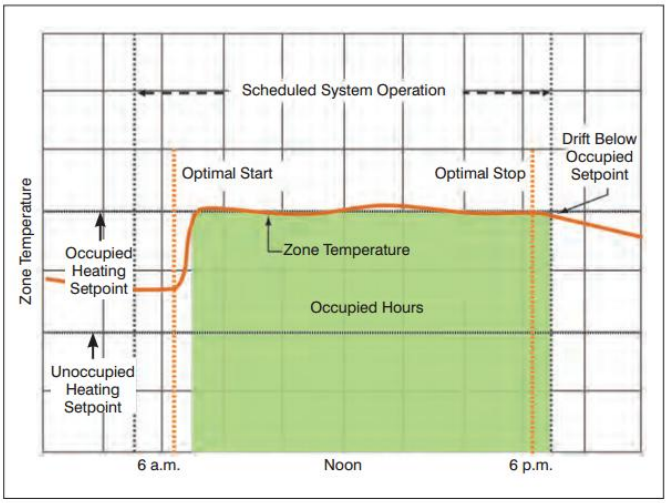


Figure 1: Optimal start/stop.

Gambar: Ilustrasi *optimum start*

Sumber: Canbay (2003)

Secara sederhana,*optimum start* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (tanpa memperhitungkan suhu ruang luar):

Os = (Ts x Tn) x Cf

Os : *Optimum start*

Ts : Suhu ruang sebelum penyejukan

Tn : Suhu nyaman yang inign dicapai

Cf : *Cooling factor*

Catatan:

Nilai *Cooling factor* berkisar antara 0-255 menit/°C

- Nilai 0 dipakai ketika cooling faktor tidak diperhitungkan.
- Nilai 5 yaitu*default* perhitungan.

Contoh perhitungan:

Misalnya ruangan dipakai mulai jam 7.30 – 16.00. Nilai *Cooling factor* 5 menit/ºC dengan suhu sebelum penyejukan yaitu 30ºC dan suhu yang ingin dicapai yaitu 25ºC.

Maka, Os = (30-25) x 5

= 25

Maka nilai o*ptimum start* terjadi pada pkl. 6:55 AM

2.4. *Computational Fluid Dynamics*(CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah cabang dari dinamika fluida yang menyediakan aplikasi untuk simulasi aliran pergerakan fluida dengan solusi numerik. Dengan memakai sistem komputer, maka segala kesulitan yang terjadi akibat sistem perhitungan manual dapat teratasi. Program ini dikembangkan pada tahun 1950-an, yang bertujuan untuk melengkapi dinamika fluida eksperimental dan teoritis dengan menyediakan alternatif pengujian yang lebih murah. Selain itu dengan CFD maka penguji dimungkinkan untuk mengukur keadaan yang tidak dapat diukur secara eksperimental serta yang tidak dapat dijangkau oleh pemecahananalitik (Syama, 2009).

Secara singkat dapat dikatakan bahwa CFD merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan perhitungan, pendekatan dan memprediksi aliran fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Metode perhitungannya dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya. Prinsipnya yaitu suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau *software.*

Metode numerik merupakan teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulakan secara matematis dengan cara hitung aritmatika (deret hitung). Banyak permasalahan di bidang ilmu digambarkan dalam suatu persamaan, apabila persamaannya sederhana akan cepat dan mudah diselesaikan dengan cara analitis (eksak), namun untuk permasalahan yang rumit, tidak linear dan besar perlu diselesaikan dengan metode numerik. Metode numerik menghasilkan nilai perkiraan (tidak eksak tepat),keakuratan hasil bergantung pada nilai *error* yang sekecil-kecilnya. Prosesnya mengunakan metode hitung iterasi sehingga akan lebih efektif apabila didukung dengan komputer.

2.4.1. *CFD-ACE +*

*CFD-ACE+*adalah sebuah perangkat lunak dari program komputer yang digunakan untuk analisis komputasi multi-fisika. Program ini menyediakan modul geometri dan grid, grafis untuk mempersiapkan model, komputasi *solver* untuk melakukan simulasi, dan program visualisasi untuk memeriksa dan menganalisis hasil simulasi. Standar *CFD-ACE+*mencakup paket aplikasi berikut:

- ✓ *CFD-GEOM*-geometri dan grid
- ✓ *CFD-ACE-GUI*–grafis untuk mempersiapkan model
- ✓ *CFD-ACE-Solver-advanced polyhedral solver*
- ✓ *CFD-VIEW-post processor*.

CFD-ACE+ juga menyediakan beberapa perangkat lain sebagai bagian dari *CFD-ACE-Solver*, diantaranya yaitu sebagai berikut:

- ➢ *CFD-GEOM* – Menyediakan modeling geometri dan kemampuan untuk menggenerasi kualitas grid.
- ➢ *CFD-VisCART* – Menyediakan kemampuan menggenerasi grid Cartesian dan *viscous cartesian.*
- ➢ *CFD-MicroMESH* – Menyediakan generasi *layer grid prismatik* dari *layout file*.
- ➢ CFD-VIEW – Menyediakan visualisasi dan perangkat analisis untuk menguji hasil kalkulasi.

2.4.2.*CFD-ACE* dan displacement ventilation

Hubungan CFD dan *displacement AC* terletak pada fungsi dari CFD, yaitu untuk menganalisis pola aliran udara *diffuser AC*. Hasil dari analisis ini berupa kecepatan dan suhu untuk satu set kondisi batas (*boundary layer*). Untuk melakukan hal ini, maka diperlukan pemahamanyang komprehensif menyangkutfenomenafisik yang terjadi agar hasil yang dicapai dapat akurat.Perangkat ini sangat berguna dalammenentukan*diffuser* DV beserta tata letaknya dalam ruangan (khusus ruang besar dan rumit), tetapi analisisnya tidakmemperhitungkan efekperubahan yang terjadi dalam ruang itu (sepertigerakpenghuni dan peralatan).

Keuntungan memakai CFD untuk mensimulasi *displacement AC* diantaranya dapat memberikaninformasi yang sangatrinci menyangkut kinerja DV,selain itu biaya yang dikeluarkan juga jauhlebih rendahdibandingkandengantekseksperimental,selain itu penelitian oleh Gilani dkk (2013), menemukan bahwa CFD dapat dengan sangat akurat memprediksi stratifikasi suhu dalam ruangan.

Banyak studi lain Huo dkk,2000,Sun&Smith,2005,Einberg dkk,Srebric&Chen,2000 dalam Gilani (2013) menunjukan bahwa deskripsi yang benar dari*diffuser* pada CFDmemainkan peran yang penting dalam mendapatkan hasil simulasi yang akurat mengenai distribusi aliran udara dalam ruang. Hal ini karena karakteristik aliran udara dari *diffuser*biasanya

mengisi secara keseluruhan aliran udara dalam ruang. Bentuk *diffuser* yang paling umum digunakan dalam sistem DV memiliki sistem geometri yang sangat rumit, seperti *perforated* seperempat lingkaran,*grille*, atau *swirl diffuser*.

2.4.3. Kesulitan dalam simulasi dengan menggunakan *CFD-ACE*

Kesulitan utama dalam simulasi sistem *displacement AC*yaitu ukuran *diffuser* yang relatif kecil dibandingkan dengan ukuran ruang tempat simulasi (Srebric danChen,2002). Berhubung dengan ukuran diffuser yang kecil ini, maka grid yang digunakan bisa mencapai puluhan ribu sel yang nantinya akan sangat mempengaruhi lamanya waktu simulasi (tergantung dari spesifikasi komputer yang dipakai).

2.5. *SketchUp*

SketchUp yaitu program pemodelan tiga dimensi yang dirancang untuk insinyur arsitektur, sipil, dan mekanik serta pembuat film,*game developer*, dan profesi terkait.Hal ini termasuk fitur untuk memfasilitasi penempatan model di *Google Earth*. Program ini memenangkan *community choice award* pada *tradeshow* pertama pada tahun 2000 sebagai program yang memiliki periode belajar pendek dari *software 3D* lainnya(Amir, 2011).Ada dua versi *SketchUp* yaitu versi *Google SketchUp* (versi gratis) dan versi *SketchUp Pro*. Kelebihan *SketcUp Pro* dari *Google SketchUp*yaitumampu untuk mengekspor file 3D dalam

bentuk *3ds, Dwg, dxf, FBX, Obj, XSI* dan *wrl Format file*. Sedangkan untuk file 2D dapat diekspor dalam bentuk *bmp, png, jpg,tif, pdf, eps, exp, dwg dan dxf*. File gambar selalu disimpan dalam bentuk *SKP*. Fitur-fitur yang disediakan oleh *SketchUp* diantaranya: Tepi dan wajah (*Edge & Faces*), dorong dan tarik (*Push/Pull*), pengukuran yang akurat (*accurate measurements*),*follow me,paint bucket, grup* dan *komponen, shadow, section, scene, look around and walk, dimensi* dan *label, import* dan *eksport.* Semua bagian masing-masing dengan fungsi dan kegunaan yang spesifik yang sangat membantu dalam pembuatan model 3D.