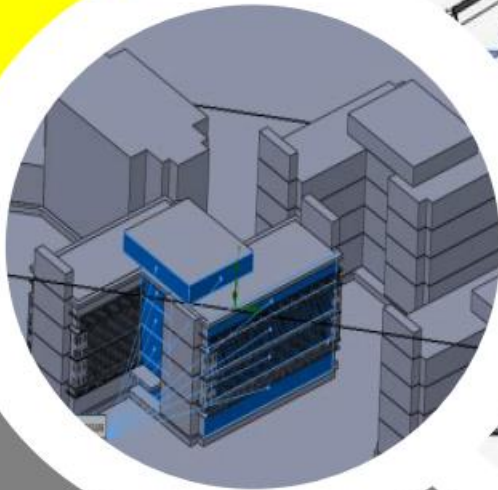


Dr. Ir. Sahabuddin Latif, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.



STRATEGI PENGALIRAN UDARA

UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG DENGAN METODE SIMULASI
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

STRATEGI PENGALIRAN UDARA
UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG DENGAN METODE SIMULASI
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Dr. Ir. Sahabuddin Latif, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

Mitra Ilmu
2023

Strategi Pengaliran Udara untuk Kenyamanan
Termal Ruang dengan Metode Simulasi
Computational Fluid Dynamics (CFD)

**STRATEGI PENGALIRAN UDARA
UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG DENGAN
METODE SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS (CFD)**

Penulis :

Dr. Ir. Sahabuddin Latif, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.

ISBN: 978-623-145-326-6

Desain Sampul dan Tata Letak:

Sulaiman

Penerbit :

Mitra Ilmu

Ukuran :

23 x 15 cm (Standar UNESCO)

Kantor:

Jl. Kesatuan 3 No. 11 Kelurahan Maccini Parang

Kecamatan Makassar Kota Makassar

Hp. 081340021801/ 0852-9947-3675/ 0821-9649-6667

Email : mitrailmua@gmail.com

Website : www.mitrailmumakassar.com

Anggota IKAPI Nomor: 041/SSL/2022

Cetakan pertama: Oktober 2023

DAFTAR ISI

Daftar Isi.....	iii
Kata Pengantar	iv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II KARAKTERISTIK IKLIM TROPIS LEMBAB	6
BAB III KENYAMANAN TERMAL (THERMAL COMFORT)	8
BAB IV PELEPASAN PANAS DENGAN SISTEM PENGALIRAN UDARA.....	15
BAB V METODE ANALISIS DINAMIKA FLUIDA DENGAN KOMPUTER	47
BAB VI IMPLEMENTASI STRATEGI PENGALIRAN UDARA UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG DENGAN METODE SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)	54

BAB VII HASIL REKAYASA EKSTERNAL.....	90
BAB VIII PENUTUP	95
DAFTAR PUSTAKA	97

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas izin-Nya, penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul **“Strategi Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)”**.

Upaya mencapai kenyamanan pada bangunan di Indonesia yang beriklim tropis lembab dengan karakteristik curah hujan yang tinggi, kelembaban udara yang tinggi (dapat mencapai angka lebih dari 90%), suhu udara relatif tinggi (dapat mencapai hingga 38°C), aliran udara sedikit, serta radiasi matahari yang menyengat dan mengganggu, dapat diatasi melalui strategi pendinginan bangunan dengan cara mengatasi pengaruh negatif iklim dan memanfaatkan semaksimal mungkin pengaruh yang menguntungkan.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna. Karena itu, penulis berharap agar pembaca berkenan memberikan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan kedepannya. Akhir kata, penulis berharap agar buku ini dapat membawa manfaat kepada pembaca dan menjadi inspirasi untuk para generasi bangsa agar menjadi pribadi yang bermartabat, berpengetahuan luas, mandiri dan kreatif.

Oktober 2023

Penyusun

SINOPSIS

Buku ini membahas tentang Strategi Pengaliran Udara Untuk Kenyamanan Termal Ruang Dengan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Analisis dilakukan untuk mengetahui bagian ruang yang mengalami aliran udara tinggi dan rendah serta mengetahui faktor pendukung dan kendala. Eksperimen/rekayasa dengan mengubah beberapa parameter sehingga menghasilkan output pola aliran udara yang optimal memberikan efek kenyamanan termal bagi pengguna bangunan. Kenyamanan termal dalam bangunan dapat di capai melalui pendekatan arsitektural, orientasi bangunan; elemen arsitektur; elemen lansekap, dan material/bahan bangunan

BAB I

PENDAHULUAN

Tujuan mendasar dari bangunan adalah untuk memberikan ruang beraktivitas yang nyaman kepada manusia sebagai penggunanya agar terlindung dari iklim luar bangunan yang tidak menguntungkan (Thomas, 2012). Dalam hal ini bangunan harus memberikan perlindungan terhadap pengguna dan dapat memberikan kenyamanan agar aktivitas dalam bangunan berjalan dengan optimal (Sugini, 2004).

Upaya mencapai kenyamanan pada bangunan di Indonesia yang beriklim tropis lembab dengan karakteristik curah hujan yang tinggi, kelembaban udara yang tinggi (dapat mencapai angka lebih dari 90%), suhu udara relatif tinggi (dapat mencapai

hingga 38°C), aliran udara sedikit, serta radiasi matahari yang menyengat dan mengganggu, dapat diatasi melalui strategi pendinginan bangunan dengan cara mengatasi pengaruh negatif iklim dan memanfaatkan semaksimal mungkin pengaruh yang menguntungkan (Talarosha, 2005; Kurnia dkk., 1994; Takahashi, 2005).

Menurut Karyono (2010), strategi penting agar rancangan bangunan memungkinkan perpindahan panas secara konveksi berlangsung, yakni dengan membuat bukaan seperti jendela, jalusi dan sebagainya yang memungkinkan ventilasi udara silang terjadi secara optimal.

Menurut Busato (2003), kenyamanan termal tidak hanya dipengaruhi kondisi iklim seperti suhu udara saja, tetapi juga aliran udara dan kecepatan udara, serta penguapan keringat. Selain itu Busato juga mendapatkan ternyata sebuah sistem yang

sebagian besar bergantung pada pendingin pasif dan penggunaan alat mekanis sederhana seperti kipas listrik lebih diinginkan dalam bangunan dari pada sistem mekanis penuh.

Menurut Talarosha (2005), kenyamanan termal dalam bangunan dapat di capai melalui pendekatan arsitektural yaitu: 1) orientasi bangunan; 2) elemen arsitektur; 3) elemen lansekap, dan 4) material/bahan bangunan.

Suwantara, dkk. (2012) mengkaji mengenai karakteristik termal rumah tradisional *Uma Lengge* terletak di Desa Mbawa, Propinsi NTB. Pengukuran terhadap paramater iklim (suhu, kelembaban, dan kecepatan angin) selama 24 jam pada musim hujan dan kemarau. Hasil dari penelitian tersebut bahwa *Uma Lengge* mampu menghangatkan ruangan $0,1^{\circ}\text{C}$ pada musim hujan dan lebih rendah $0,8^{\circ}\text{C}$ pada musim kemarau.

Indrani (2008), mengkaji kinerja ventilasi pada hunian rumah susun Dupak Bangunrejo Surabaya, dengan parameter yang diamati yaitu *air flow rate* dan *air change* (ACH) menggunakan program simulasi AILOS. Hasil menunjukkan bahwa jika orientasi bukaan berada pada wilayah *wind shadow* maka ruang dalam tidak menerima angin, yang terjadi justru mendapat tekanan hisapan. Desain bukaan perlu memperhatikan luasan *inlet* dan *outlet* karena apabila ACH tidak mengalami kenaikan berarti, maka kecepatan angin *internal* menjadi rendah dan kenyamanan termal tidak terpenuhi.

Huda, dkk. (2012) melakukan kajian termal akibat paparan panas dan perbaikan lingkungan kerja. Penelitian ini menggunakan CFD untuk menganalisis sistem ventilasi ruang kerja karyawan, dihasilkan beberapa rekomendasi untuk

mengubah luasan *inlet* dan *outlet* serta *turbin ventilator*. Hasil analisis bisa menurunkan temperatur ruang dari 31-33°C menjadi 28-30°C dan kecepatan angin dari 0,1-0,2 m/s menjadi berkisar 0,2-0,7 m/s.

Baharuddin, dkk. (2012), menyimpulkan bahwa gedung kuliah bersama kampus baru Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang berlokasi di Kabupaten Gowa, belum memenuhi standar kenyamanan termal akibat tingginya temperatur udara dan tidak adanya aliran udara dalam ruang, terutama pada waktu siang setelah jam 12.00 wita.

Studi tentang kenyamanan termal di ruang kelas menunjukkan adanya hubungan positif antara kualitas ruangan (termasuk di dalamnya kondisi termal) dengan prestasi siswa (Mendell 2005). Penelitian tentang kenyamanan termal di ruang

kelas telah dilakukan di berbagai tempat di dunia (Buratti, dkk. 2009; Corgnati, dkk. 2007; Corgnati, dkk. 2009; Hwang, dkk. 2006; Kwok, dkk. 2003; Mors, dkk. 2011; Teli, dkk. 2012; Wong, dkk. 2003; Baharuddin dkk. 2013)

BAB II

KARAKTERISTIK IKLIM TROPIS LEMBAB

Menurut Frick (2011), Ciri umum iklim di Indonesia adalah tropis lembab dengan ciri temperatur udara relatif panas, intensitas radiasi sedang sampai tinggi, pergerakan angin sedikit serta pertukaran panas kecil karena kelembaban tinggi. Radiasi matahari global harian rata-rata 2-4 m/detik, luminasi langit untuk langit yang seluruhnya tertutup awan tipis cukup tinggi mencapai lebih dari 7000 kandela/m² dan yang tertutup awan tebal 850 kandela/m² (Soegijanto, 1999). Menurut Lippsmeier (1994), temperatur udara maksimum rata-rata 30,5°C, temperatur udara minimum rata-rata 25°C, kelembaban udara relatif antara 50%-100%, curah hujan selama setahun antara 2000-5000 mm, kondisi langit

umumnya berawan dengan jumlah awan antara 60%-90%.

Bangunan yang berada di iklim tropis basah akan mendapati panas sebagai masalah, sehingga bangunan akan bertugas untuk mendinginkan iklim dalam ruang sepanjang tahun (Rosadi, 2012). Beberapa studi yang berkaitan dengan sistem termal di daerah tropis lembab melihat bahwa kecenderungan masalah yang dihadapi adalah sama yaitu besarnya beban panas dalam bangunan yang berpengaruh terhadap pembentukan suhu udara dalam ruang (Febrita, 2011).

BAB III

KENYAMANAN TERMAL **(*THERMAL COMFORT*)**

A. Pengertian

Kenyamanan termal adalah sebuah kondisi pemikiran seseorang yang mengekspresikan kepuasan dirinya terhadap lingkungan termalnya. Kondisi kenyamanan termal berbeda untuk semua orang, zona kenyamanan merupakan tujuan perancangan termal sebuah bangunan karena dapat mendefinisikan kondisi yang dianggap nyaman oleh sebagian besar manusia (ASHRAE, 2004).

Kenyamanan termal, seperti yang didefinisikan oleh standar ISO (*Internasional Standard Organization*) 7730, adalah hubungan yang kompleks antara temperatur udara,

kelembaban udara, dan kecepatan aliran udara, ditambah lagi dengan jenis pakaian dan aktivitas serta tingkat metabolisme penghuni yang menghadirkan ungkapan perasaan kepuasan terhadap kondisi udara di dalam suatu lingkungan. Kondisi kenyamanan juga diartikan sebagai kenetralan termal, yang berarti bahwa seseorang merasa tidak terlalu dingin atau terlalu panas (ISO-7730, 1994).

Menurut Satwiko (2009), kenyamanan dan perasaan nyaman adalah penilaian komprehensif seseorang terhadap lingkungannya. Oleh karena itu kenyamanan tidak dapat diwakili oleh satu angka tunggal. Kita menilai kondisi lingkungan berdasarkan rangsangan yang masuk ke dalam tubuh melalui indera yang oleh syaraf dibawa ke otak dan dinilai.

Kenyamanan termal adalah suatu proses yang melibatkan fisik, fisiologis dan psikologis. Sehingga kenyamanan termal adalah kondisi pikir seseorang yang mengekspresikan kepuasan dirinya terhadap lingkungan termalnya (Sugini, 2004).

Dari uraian di atas penulis berkesimpulan tentang pengertian kenyamanan termal yang dipakai dalam penelitian ini adalah suatu kondisi termal yang dirasakan oleh manusia, yang dipengaruhi oleh iklim, lingkungan atau benda-benda disekitar arsitekturnya dan kondisi pikir seseorang yang mengekspresikan kepuasan dirinya terhadap lingkungan termalnya.

B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal

Untuk menciptakan kenyamanan termal, diketahui ada empat faktor yang mempengaruhi

kemampuan tubuh manusia menyalurkan kalor (Mannan, 2007. Lechner, 2007).

- Temperatur/suhu ($^{\circ}\text{C}$),
- Kelembaban Relatif, (%)
- Kecepatan Udara (m/det.),
- Mean Radiant Temperature (MRT).

Lippsmeier (1994), menambahkan Pantulan/penyerapan dan Radiasi matahari sebagai faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal.

Trelkeld (1970), sependapat dengan Mannan dan Lecner, namun menambahkan faktor personal sebagai pengaruh terhadap kenyamanan termal :

- Isolasi pakaian (*Clo*)
- Metabolisme (*Met*)

Dalam studi kenyamanan termal para peneliti sepakat dengan enam variabel penentu kenyamanan termal. Dua variabel personal pakaian

dan aktivitas dan empat variabel iklim suhu udara, suhu radiasi permukaan bidang, kecepatan angin dan kelembaban udara (Sugini, 2004).

C. Zona Kenyamanan Termal

Standar kenyamanan termal Indonesia, dalam tata cara perencanaan teknis konservasi energi pada bangunan gedung yang diterbitkan oleh Yayasan LPMB-PU (1993):

- Sejuk nyaman 20,5°C (TE)–22,8°C (TE), kelembaban relatif (RH) 50%-80%;
- Nyaman optimal 22,8°C (TE)–25,8°C (TE), kelembaban relatif (RH) 70%-80%.
- Hampir nyaman 25,8°C (TE)–27,1°C (TE), kelembaban relatif (RH) 60%-70%.

Standar kenyamanan Amerika (ANSI / ASHRAE-55, 2010) merekomendasikan suhu nyaman 21,5°C-28,2°C untuk 0,5-1,0 *clo* zone.

Hasil penelitian Karyono (2007), menyebutkan bahwa suhu nyaman bagi pribumi Indonesia berada pada kisaran 22,2°C-27,4°C. Sedang menurut Kurnia (2010), kenyamanan termal orang Indonesia adalah:

- Dingin tidak nyaman < 20,5°C (TE)
- Sejuk nyaman 20,5 °C (TE)–22,8 °C (TE)
- Nyaman optimal 22,8°C (TE)–26,0°C (TE)
- Hangat nyaman 26,0°C (TE)–27,2°C (TE)
- Panas tidak nyaman >27,2°C (TE)

Kenyamanan termal untuk daerah tropis lembab dapat dicapai dengan batas-batas $24^{\circ}\text{C} < T < 26^{\circ}\text{C}$, $40\% < \text{RH} < 60\%$, dan $0,6 < V < 1,5$ m/det, kegiatan santai, pakaian ringan dan selapis (Satwiko, 2009).

Standar kenyamanan termal untuk kecepatan angin menurut (Lippsmeier G. , 1994) adalah :

- 0,25 m/s nyaman, tanpa dirasakan adanya gerakan udara
- 0,25-0,5 m/s nyaman, gerakan udara terasa
- 1,0-1,5 m/s aliran udara ringan sampai tidak menyenangkan
- Diatas 1,5 m/s tidak menyenangkan.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa suhu nyaman optimum hingga hampir nyaman atau hangat nyaman berkisar antara 22,8°C- 27,2°C dengan kelembaban udara 50%-80% dan kecepatan angin 0,25 m/s-1,5 m/s. Acuan inilah yang dipakai sebagai standar kenyamanan dalam penelitian ini.

BAB IV

PELEPASAN PANAS DENGAN SISTEM PENGALIRAN UDARA

Dalam banyak kasus pada iklim tropis lembab kenyamanan termal sulit dicapai dalam rentang waktu 24 jam dalam sehari berada pada tingkat kontrol yang diinginkan. Diperlukan rekayasa pendinginan yang lebih maju terutama untuk mengatasi *heat sink* (panas terpendam) yang diakibatkan kelembaban yang tinggi. Desain bangunan adalah faktor yang sangat penting yang mempengaruhi potensi teknik pendinginan alami (Geetha, 2012).

Menurut (Longo, 2011) selama kondisi musim panas, bangunan menjadi sumber panas. Oleh karena itu, menggunakan ventilasi alami merupakan strategi untuk mengusir panas *internal*

bangunan. Namun Liping, (2007a) mempertanyakan keefektifan ventilasi alami ketika kelembaban udara relatif tinggi untuk daerah tropis lembab.

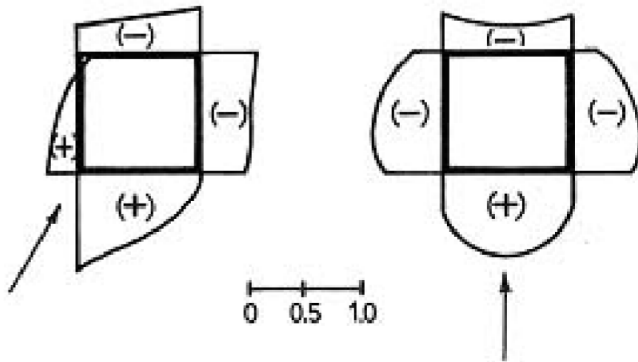
Liping dan Hien (2007a) menyimpulkan hasil penelitiannya pada bangunan hunian di Singapura bahwa ada dua strategi untuk membuat lingkungan *indoor* di dalam zona netral dan mencapai kenyamanan termal. Pertama, untuk mengkompensasi suhu tinggi, dengan meningkatkan zona kenyamanan netral yaitu memberikan kecepatan angin lebih tinggi (< 1m/det). Kedua, desain fasad yang tepat - penerapan bahan bangunan yang berkualitas dan perangkat *shedding* - suhu ruangan dapat dikurangi 2-3 °C dibandingkan dengan suhu diluar ruangan.

1. Prinsip-Prinsip Pergerakan Udara

Dibawah ini akan dijelaskan prinsip-prinsip pergerakan angin baik di dalam maupun diluar bangunan:

a. Alasan Udara Bisa Mengalir

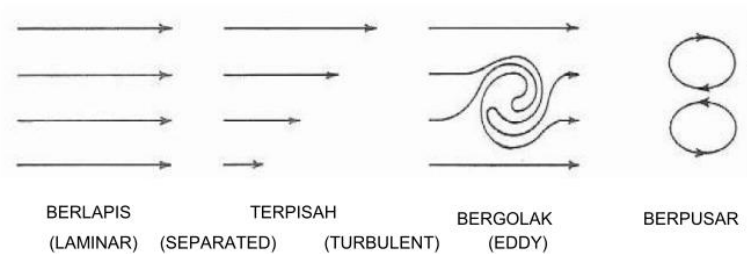
Kekuatan pendorong utama yang menyebabkan pergerakan udara alami melalui bangunan adalah perbedaan tekanan di selubung bangunan. Perbedaan tekanan ini dapat dihasilkan oleh tekanan angin, daya apung termal (*stack* atau efek *chimney*) atau dengan kombinasi keduanya. Efek ini beroperasi di sebuah bangunan dalam proporsi yang bervariasi sesuai dengan kekuatan angin yang berlaku dan kondisi temperatur, Gambar 1. Lechner (2007); Busato (2003).



Gambar 1. Skema distribusi tekanan angin pada bangunan (sumber: Busato, 2003)

b. Tipe-Tipe Aliran Udara

Ada empat tipe dasar aliran udara: terdiri atas arus berlapis (*laminar*), terpisah (*separate*), bergolak (*turbulent*), dan berpusar (*eddy*). Gambar 2, menggambarkan empat tipe tersebut dengan garis-garis yang mewakili arus-arus udaranya.



Gambar 2. Empat jenis aliran udara (sumber: Lecner, 2007)

c. Kelambanan Inertia

Karena udara mempunyai beberapa massa, pergerakannya akan cenderung berada di jalur yang lurus. Ketika dipaksa untuk mengubah arah alirannya, arus-arus dari udara tersebut akan mengikuti bentuk kurva dan tidak pernah membentuk sudut yang benar (Lechner, 2007).

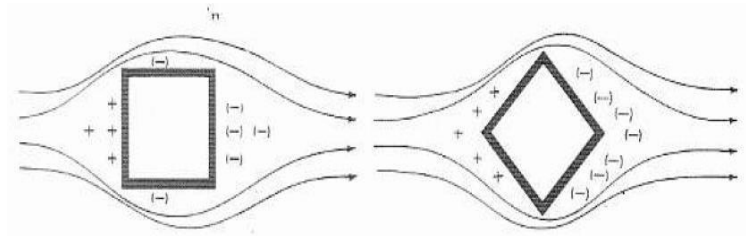
d. Konservasi Udara

Karena udara tidak diciptakan maupun dirusak pada tapak bangunan, udara yang sedang mendekati suatu bangunan harus setara dengan udara yang keluar dari bangunan itu. Jadi, garis-garis yang mewakili arus-arus udara harus digambar secara terus-menerus (Lechner, 2007).

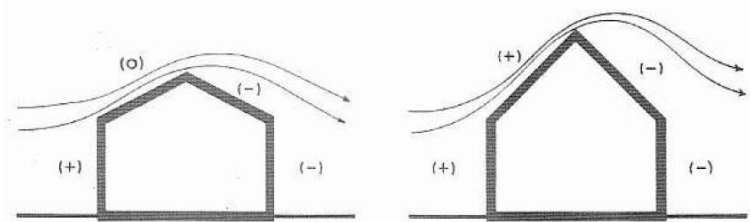
e. Area dengan Tekanan Udara yang Tinggi dan Rendah

Ketika angin menghantam bagian dari bangunan, ia akan memadatkan dan menciptakan tekanan positif (+). Pada saat yang sama udara akan terisap pada sisi yang terhindar dari angin, sehingga menciptakan tekanan negatif (-), udara akan dibelokkan ke sekitar bagian tersebut yang secara umum juga akan menciptakan tekanan yang negatif, Gambar 3. Tipe tekanan yang tercipta di bagian atas atap akan bergantung pada faktor

landainya atap itu sendiri Gambar 4. Area-area tekanan di sekitar bangunan ini akan menentukan bagaimana udara mengalir melalui bangunan tersebut (Lechner, 2007).

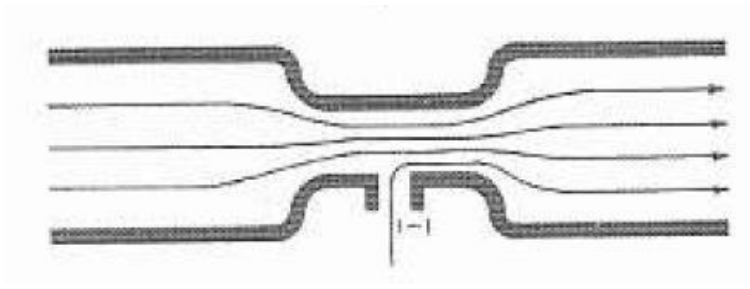


Gambar 3. Udara mengalir menciptakan area tekanan positif (+) dan negatif (-) disekitar bangunan (sumber: Lechner, 2007)



Gambar 4. Pengaruh kemiringan atap terhadap ruang tekanan (+) dan (-) (sumber: Lechner, 2007)

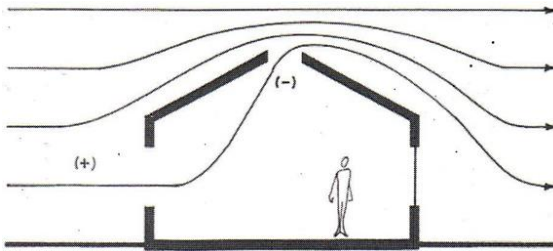
f. Efek Bernoulli



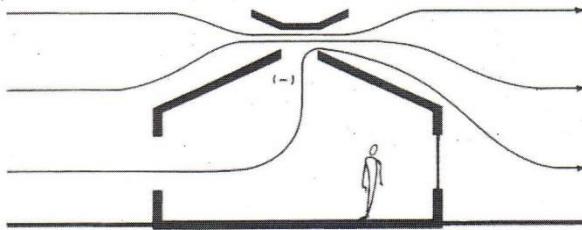
Gambar 5. Tabung venturi menggambarkan efek Bernoulli, ketika kecepatan udara meningkat, tekanan statiknya menurun. (sumber: Lechner, 2007)

Prinsip *Bernoulli* adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari persamaan *Bernoulli* yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama, Gambar 5. Lechner, (2007)

Atap yang berbentuk 'gable' juga merupakan setengah dari tabung "venturi". Dengan demikian, udara akan terisap keluar pada setiap lubang udara yang berada dekat dengan bubungan Gambar 6. Dampaknya pun akan lebih kuat dengan cara merancang atap tersebut menyerupai tabung venturi yang penuh, Gambar 7 (Lechner, 2007).



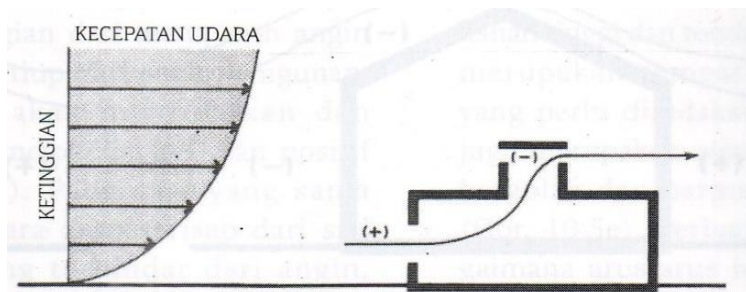
Gambar 6. Efek setengah tabung venturi menyebabkan terbuangnya udaramelalui atap (sumber: Lechner, 2007)



Gambar 7. Efek tabung venturi digunakan pada atap (sumber: Lechner, 2007)

Ada juga fenomena lain dari efek *Bernoulli* yaitu, kecepatan udara akan meningkat secara cepat dengan ketinggian di atas bagian dasar

bangunan. Dengan demikian, tekanan pada bagian bubungan atap akan lebih rendah dibanding tekanan yang ada di jendela di bagian dasar. Akibatnya meskipun tanpa bantuan faktor geometri tabung "venturi", efek *Bernoulli* akan membuang udara melalui lubang-lubang angin yang terdapat di bagian atap, Gambar 8 (Lechner, 2007).



Gambar 8. Kecepatan angin terhadap ketinggian (sumber: Lechner, 2007)

Ketika angin bertiup di dekat permukaan tanah, penghalang berupa benda-benda menciptakan turbulensi dan gaya gesek sehingga menurunkan kecepatan rata-rata. Semakin tinggi penghalang, semakin besar turbulensi dan semakin rendah kecepatan angin tersebut. Sebagai aturan umum, kecepatan angin meningkat dengan bertambahnya ketinggian (Center, 2013; Turbines, 2008; Satwiko, 2009).

Jika diketahui kecepatan angin pada ketinggian tertentu, maka bisa dihitung berapa kecepatan angin pada ketinggian yang lain (Center, 2013; Turbines, 2008;). Tinggi rendah kecepatan angin untuk berbagai topografi dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^n \quad (1)$$

Dimana:

V1 = kecepatan angin yang diketahui (m/s)

V2 = kecepatan angin yang ingin diketahui
(m/s)

H1 = ketinggian dari V1 (m)

H2 = ketinggian titik ukur (m)

n = eksponen kecepatan angin rata-rata

Tabel 1. Topografi Permukaan Tanah

Deskripsi permukaan tanah	Eksponen kecepatan angin rata-rata
Laut terbuka, padang es, padang pasir	0,11
Daerah terbuka dengan perdu pendek dan pepohonan jarang	0,15

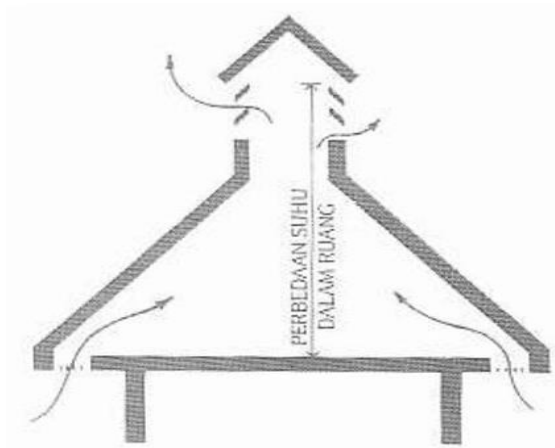
Daerah pinggir kota, kota kecil, hutan	0,25
Pusat kota dengan bangunan tinggi, daerah perindustrian	0,36

Sumber: Satwiko 2009

g. Efek Cerobong (Chimney Effect / Stack Effect)

Efek cerobong akan membuang udara dari bangunan melalui aksi konveksi yang alami. Akumulasi panas yang terjadi pada ruang dibawah atap mengakibatkan daya apung (*Chimney Effect*) pada udara sehingga terjadi pergerakan dari ruang yang lebih dingin di bagian bawah lalu mendorong udara bagian atas cepat keluar dari atap, hal ini sangat cocok untuk meningkatkan kecepatan udara di dalam bangunan di daerah tropis lembap

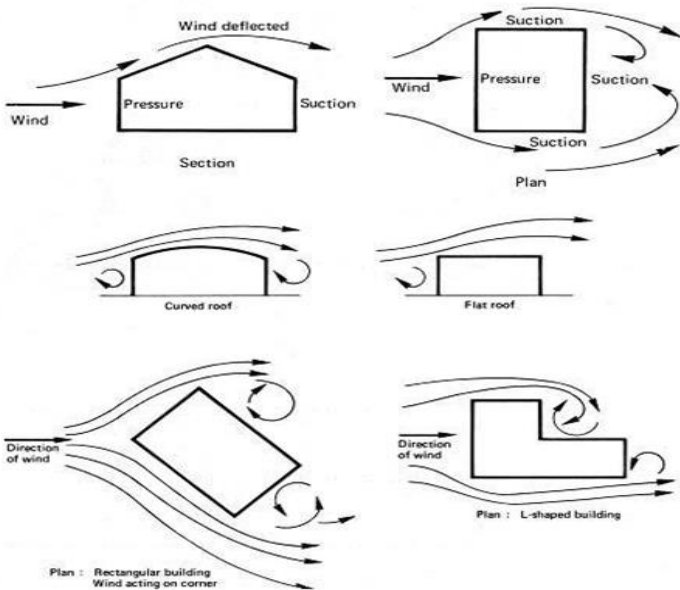
(Febrita, 2011). Untuk memaksimalkan efek ini, suatu lubang haruslah dibuat sebesar mungkin dan terpisah secara vertikal sejauh mungkin. Udara harus bisa mengalir secara bebas dari lubang yang lebih rendah ke lubang yang lebih tinggi seperti pada Gambar 9 (Lechner, 2007).



**Gambar 9. Efek Cerobong digunakan pada atap
(sumber: Lechner, 2007)**

h. Aliran Udara Sekitar Bangunan

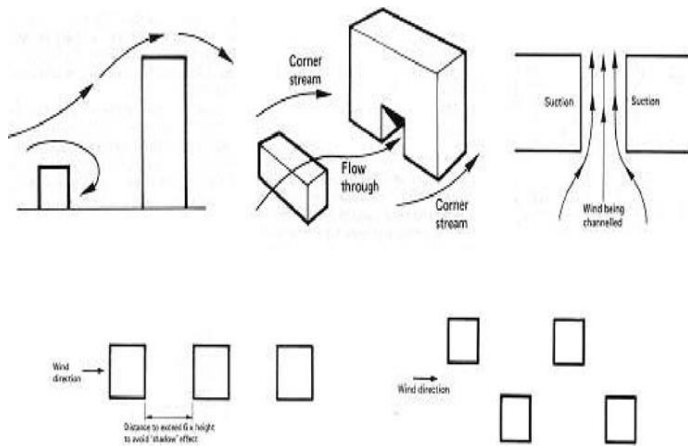
Tingkat aliran udara dapat dipengaruhi oleh hambatan yang dilaluinya baik berupa bangunan atau vegetasi maupun benda lain. Hambatan tersebut dapat mengubah arah maupun kecepatan aliran udara, sehingga akhirnya akan mengubah area tekanan dan hisapan pada selubung bangunan seperti yang ditunjukkan dalam diagram di bawah ini Gambar 10 (Busato, 2003).



Gambar 10. Tekanan, hisapan dan aliran angin di sekitar bangunan (sumber: Busato, 2003)

Bentuk dan orientasi bangunan terhadap arah angin dapat mempengaruhi pola perilaku aliran udara di sekitar lingkungan dimana bangunan itu berada (Lechner, 2007). Faktor yang mempengaruhi pola aliran udara di sekitar

bangunan adalah topografi, fisik bangunan, hubungan dengan lingkungan sekitarnya dan hambatan: bangunan lainnya, pagar, vegetasi dan lain-lain (Geetha, 2012). Hubungan antara gedung-gedung tinggi dan rendah, misalnya dapat menyebabkan turbulensi meningkatkan kecepatan udara yang mengakibatkan tekanan angin yang lebih besar Gambar 11.



Gambar 11. Sirkulasi angin dan efek bayangan di sekitar bangunan (sumber: Busato, 2003)

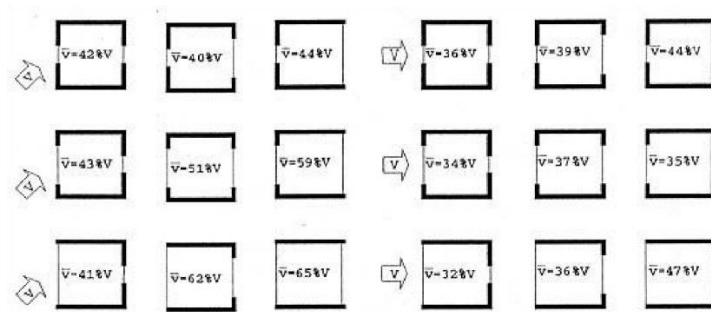
Aliran udara yang menerpa bangunan akan menghasilkan *wind shadows* 'bayangan angin' yang merupakan area dimana tekanan udara menjadi lebih rendah. Besaran area tersebut berbanding lurus dengan besar bangunan. Area ini perlu diperhitungkan untuk tata letak antar bangunan dalam *site*, karena akan mempersulit sistem ventilasi alami bangunan lain sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 11 (Busato, 2003).

i. Aliran Udara Dalam Bangunan

Faktor utama yang mempengaruhi pola aliran udara memasuki bangunan adalah ukuran dan bentuk lubang *inlet*, lokasi bukaan, jenis dan konfigurasi dari *inlet* termasuk konfigurasi dari unsur-unsur yang berdekatan lainnya seperti partisi *internal*, proyeksi dan vegetasi.

1) Bentuk dan ukuran bukaan

Cherian (2011), telah melakukan investigasi menyeluruh terhadap ventilasi alami bangunan pada iklim hangat-lembap. Rata-rata ekspresi kecepatan udara *internal* sebagai persentase dari kecepatan angin *eksternal*.

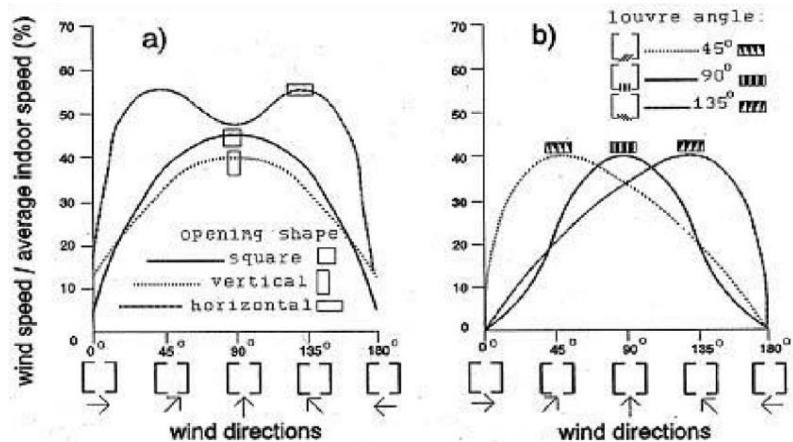


Gambar 12. Rata-rata presentase kecepatan, internal terhadap luar sebagai fungsi dari arah angin dan rasio inlet/outlet (sumber: Busato, 2003)

Menurut Chenvidyakarn, (2007), Ukuran dan bentuk bukaan merupakan faktor penting yang menentukan aliran udara dalam bangunan. Untuk bangunan dengan bukaan di dinding yang berlawanan, kecepatan angin dalam ruangan dapat meningkat jika arah angin membentuk sudut ke *inlet*, Gambar 12. Tingkat aliran udara yang lebih besar juga bisa dicapai ketika outlet lebih besar dari pada bukaan *inlet*. Namun sebaliknya, kecepatan udara yang lebih merata di seluruh ruang ketika *outlet* lebih kecil dari pada *inlet*. Hal ini karena energi kinetik angin diubah menjadi tekanan statis di sekitar bagian bawah bukaan, Busato (2003).

Bentuk dan konfigurasi bukaan juga memiliki efek pada kecepatan angin internal. Bukaan horizontal atau bukaan *inlet* persegi lebih baik dibanding berbentuk vertikal. *Inlet* berbentuk horizontal memberikan kinerja optimal jika sudut

kedatangan angin diarahkan pada posisi sekitar 45°, Gambar. 13 (Busato, 2003).

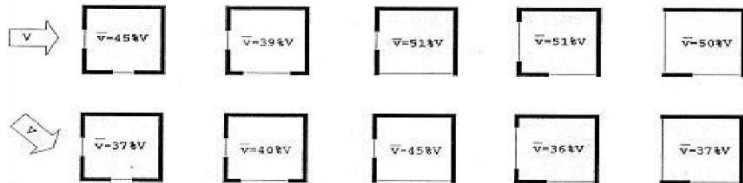


Gambar 13. Kinerja bukaan yang berbeda dan arah angin (sumber: Busato, 2003)

2) Lokasi Bukaan

Cross-ventilasi optimal dalam ruangan terjadi, jika penerapan bukaan pada tiga fasad berbeda, tetapi konfigurasi tersebut tidak umum. Untuk ruangan dengan bukaan di dua sisi yang

berdekatan, kecepatan udara rata-rata lebih tinggi dapat dicapai ketika sudut angin tegak lurus terhadap *inlet*, Gambar 14 (Chenvidyakarn, 2007).



Gambar 14. Pengaruh kedekatan lokasi bukaan dan ukuran pada dinding (sumber: Busato, 2003)

Dalam bangunan dengan bukaan di tengah seperti lobi dan void, distribusi udara internal sebagian besar ditentukan oleh total luas bukaan di dinding. (Lechner, 2007).

2. Ventilasi Alami

Ventilasi alami adalah teknik pendinginan pasif untuk mempertahankan tingkat kualitas udara yang baik yang dicapai dengan cara alami.

Dalam beberapa kasus, bangunan merlukan sirkulasi udara yang lebih besar untuk mengkompensasi temperatur dan kelembaban udara tinggi dalam ruangan agar memenuhi kebutuhan kesegaran yang berasal dari udara luar (Geetha, 2012).

Liping dan Hien (2007) menganalisis penggunaan ventilasi alami pada bangunan yang berlokasi di Singapura yang beriklim panas dan lembab. Penelitian ini menganalisis strategi ventilasi alami dan telah membuktikan bahwa sehari penuh ventilasi alami dapat meningkatkan kenyamanan termal pada iklim tropis lembab. Para peneliti melakukan pengamatan terhadap empat strategi ventilasi dan bahan yang berbeda dalam selubung bangunan, dengan menggunakan program TAS (*Thermal Analysis Software*). Strategi ventilasi malam hari, strategi ventilasi siang hari,

strategi ventilasi penuh bukaan dan sama sekali tidak ada ventilasi. Para penulis menyimpulkan bahwa rasio bukaan jendela pada dinding 24% sangat ideal untuk mencapai kondisi kenyamanan termal terbaik pada bangunan. Perangkat *shading* horizontal direkomendasikan untuk semua fasade dalam rangka meningkatkan kenyamanan termal.

Raja, dkk. (2001); Gratia, dkk. (2004), berkesimpulan bahwa infiltrasi udara dengan sistem ventilasi alami dapat digunakan untuk meningkatkan kenyamanan termal pada ruang-ruang dalam bangunan, tetapi efisiensi sistem ini tergantung pada kondisi iklim, sehingga beberapa strategi untuk mengurangi panas internal mungkin diperlukan pada kondisi tertentu.

Desain yang sukses dari sebuah bangunan yang berventilasi alami memerlukan pemahaman yang baik tentang pola aliran udara dan efek dari

bangunan sekitarnya. Tujuannya adalah agar mendapatkan sirkulasi udara bersih yang cukup pada seluruh bagian ruang dalam bangunan. Pemenuhan tujuan ini tergantung pada lokasi jendela, desain interior dan karakteristik angin (Geetha, 2012).

Lechner, (2007); Engel, (2012) berpendapat, jika ventilasi alami tidak berfungsi maksimal untuk pembuangan kelebihan panas termasuk *heat sink* (panas terpendam), maka disarankan untuk menggunakan kipas angin - sistem ventilasi *hybrid*.

3. Ventilasi *Hybrid* (cangkok)

Suatu sistem ventilasi bisa disebut sebagai sistem *hybrid* (cangkok), jika ventilasi alami dipadukan dengan alat mekanis berupa kipas angin dan pompa untuk meningkatkan aliran udara. Karena menggunakan energi yang kecil, sistem ini bisa dikategorikan pasif. Sistem ini akan dijalankan

hanya ketika pasokan angin alami minim untuk mencukupi kebutuhan sirkulasi udara (Lechner, 2007).

Engel, dkk. (2012) berpendapat, sistim ventilasi alami dan *hybrid* memiliki banyak keuntungan, digunakan dalam cara dan strategi pengendalian yang tepat, akan mengakibatkan:

- penghuni lebih puas;
- kualitas udara yang lebih baik;
- Konsumsi energi lebih sedikit.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa banyak penghuni lebih puas pada bangunan yang berventilasi alami atau ventilasi *hybrid* dari pada bangunan berventilasi mekanis AC. Keuntungan lain adalah mengurangi konsumsi energi (Bordass, 2001, Hellwig, 2006, Brager, 2008).

Lechner (2007), menjelaskan ada tiga tujuan dari kipas angin:

- a) Untuk membuang udara panas, lembab, dan telah terkena polusi. Hal ini merupakan bagian dari strategi '*heat-avoidance*'.
- b) Untuk membawa udara ruang luar dengan tujuan mendinginkan orang yang memakainya (ventilasi yang nyaman) atau mendinginkan bangunan pada malam hari (pendinginan *night-flush*).
- c) Memberi sirkulasi udara ruang dalam pada saat udara ruang dengan bersuhu lebih dingin dari pada udara ruang luar.

Kipas angin mempunyai tipe tersendiri sesuai dengan tujuannya. Kipas angin jendela atau '*whole house fans*' (kipas angin besar) digunakan untuk ventilasi yang nyaman atau pendinginan *night-flush*.

Kipas angin plafon atau kipas angin meja digunakan kapanpun ketika udara ruang dalam lebih dingin

dan atau kurang lembab dibanding udara luar, Lechner (2007).

Adapula jenis kipas angin yang disebut *exhaust fan* berfungsi untuk menghisap udara di dalam ruang untuk dibuang keluar, dan pada saat bersamaan menarik udara segar dari luar ke dalam ruangan. Selain itu *exhaust fan* juga bisa mengatur volume udara yang akan disirkulasikan pada ruang. Supaya sehat setiap jenis ruangan butuh sirkulasi udara berbeda sesuai dengan fungsinya, sesuai yang diatur pada SNI 03-6572-2001.

Exhaust fan dipasang pada ruangan yang sirkulasi udara alaminya dianggap kurang memadai, sehingga pemasangan merupakan upaya mekanik untuk mengoptimalkan pergantian udara di dalam ruangan.

Ada beberapa tipe *exhaust fan* menurut pemasangannya yaitu: *exhaust fan* yang dipasang di

dinding (*wall mount*), jendela (*window mount*), dan plafond (*ceiling maunt*).

Untuk memilih atau menerapkan *exhaust fan* harus berdasarkan kebutuhan pengaliran udara dalam ruang dengan mula-mula menghitung volume ruang kemudian dikalikan dengan kebutuhan pengaliran udara per jam sesuai jenis ruang, hal ini dapat dilihat pada SNI 03-6572-2001. Setelah itu dapat ditentukan kapasitas *exhaust fan* dan jumlah unit yang dibutuhkan. Untuk memudahkan cara menghitung kebutuhan *exhaust fan* suatu ruangan, dapatlah digunakan rumus dibawah ini.

$$KEf = \frac{A \times B}{C} \quad (2)$$

Dimana:

KEf = Kapasitas *exhaust fan*

A = volume ruang (m³)

B = nilai kebutuhan frekwensi pergantian udara
dalam 1 jam

C = *air volume* (m³/jam)

Untuk mencapai kenyamanan termal ruangan yang menggunakan alat mekanis, selain perhitungan menentukan kapasitas kipas diatas, perlu juga di hitung kecepatan angin yang dibutuhkan jika terjadi suhu udara dan *humidity* yang tinggi pada ruangan.

Persyaratan kecepatan angin untuk menyatakan kenyamanan termal pada bangunan

sangat dipengaruhi oleh temperatur *internal* dan kelembaban relatif (RH). Semakin tidak nyaman, kecepatan angin yang dibutuhkan semakin tinggi. Dari hasil studi yang dilakukan oleh Macfarlane dalam Huda (2012), telah dibuat sebuah persamaan untuk menghitung kecepatan angin yang dibutuhkan untuk kenyamanan termal dan telah memasukkan unsur temperatur dan *humidity* atau kelembaban udara relatif (RH) yaitu:

$$C_v = 0,15 \{DBT - 27,2 + ([RH - 60]/10) \times 0,56\} \text{ m/s}$$

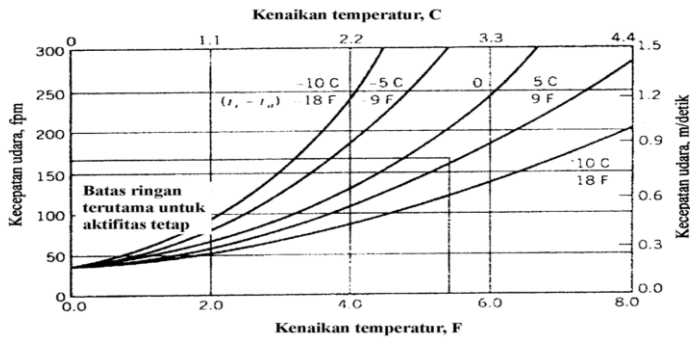
Dimana:

C_v = Kecepatan pergerakan angin
untuk memperbaiki kenyamanan termal
(m/s)

DBT = temperatur bola kering (°C)

RH = kelembaban relatif (%)

Bila nilai DBT = 30.45, RH = 68.21, maka akan diperoleh nilai $C_v = 0,34$ m/s. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kecepatan udara harus dipertahankan minimal 0,34 m/s di segala penjuruan ruangan. Dalam mempertahankan kecepatan udara tersebut, maka pemasangan *fan exhauser* dan *fan blower* diperlukan dengan pertimbangan kecepatan dan diameter tertentu (Pandiangan, 2013). Gambar 15 menunjukkan kebutuhan peningkatan kecepatan udara untuk mengkompensasi kenaikan temperatur udara kering agar tingkat kenyamanannya tetap terpelihara.



Gambar 15. Kebutuhan peningkatan kecepatan udara untuk mengkompensasi kenaikan temperatur udara kering (SNI-036572, 2001)

Penjelasan :

Misalnya temperatur udara kering dalam ruangan berubah dari 25°C menjadi 27,2°C atau naik 2,2°C untuk mengkompensasi kenaikan temperatur ini maka kecepatan udara yang mula-

mula hanya 0,15 m/detik harus dinaikkan menjadi 0,625 m/detik (SNI-03-6572, 2001).

Dari uraian sistem ventilasi diatas, maka disimpulkan sistem yang dipakai pada kajian ini mengadopsi strategi yang disarankan oleh Lecner. Dalam kasus penelitian ini termasuk pada bangunan sudah dibangun sehingga rekayasa yang dipakai hanya berkaitan dengan rekayasa pengaliran udara panas pada bangunan dengan mengoptimalkan ventilasi alami atau ventilasi *hybrid* yang dibatasi hanya menggunakan sistem mekanis yang hemat energi dalam hal ini adalah kipas angin dan pompa.

BAB V

METODE ANALISIS DINAMIKA FLUIDA DENGAN KOMPUTER

Tuakia (2008), Dengan menggunakan CFD dapat disimulasikan aliran fluida, perpindahan panas, perpindahan massa, benda-benda bergerak, aliran multifase, reaksi kimia, interaksi fluida dengan struktur, sistem akustik, sistem pernapasan, reaksi kebakaran dan lain sebagainya hanya dengan pemodelan di komputer. Dengan menggunakan *software* ini kita dapat membuat *virtual prototype* dari sebuah sistem atau alat yang ingin dianalisis dengan menerapkan kondisi nyata dilapangan; *software* CFD akan memberi data-data, gambar-gambar, atau kurva-kurva yang menunjukkan prediksi dari performansi keandalan sistem yang kita desain tersebut.

Saat ini sudah banyak *software* CFD (*Computational Fluid Dinamics*) yang beredar di Indonesia. Biasanya *software* CAD (*Computer Aided Design*) sudah menyertakan fitur CFD dalam produknya seperti Autodesk dengan *cf design* dan *Solidwork* dengan *cosmoflow*. Atau *software* lain yang memang dibangun khusus untuk CFD seperti *FloVENT*, *flowscience* dan *Fluent Ansys*. Setiap produk pasti ada kekurangan dan kelebihan, produk *cosmoflow simulation* dari *Solidwork* lebih mudah dan *friendly* digunakan daripada produk *Fluent Ansys* karena semuanya sudah serba dilengkapi dengan *library* dan otomatisasi untuk pendefinisian problem, tetapi dalam hal fleksibilitas *Fluent Ansys* lebih luas dan banyak cakupan problem yang dapat didefinisikan karena *user* dapat lebih bebas mendefinisikan masalahnya serta lebih banyak fleksibilitas lain. Hampir semua

software CFD memiliki teknik tersendiri untuk menggunakannya, tetapi paling tidak semua software tersebut beroperasi dalam 3 tahapan.

1. Tahapan Pada Analisis CFD Menggunakan Komputer

a. Tahap Pra-Pengolahan

Tahap ini merupakan tahapan pendefinisian *input* dari simulasi fluida yang ingin dianalisis. Pemahaman terhadap problem dan teori tentang fluida, perpindahan panas, dan perpindahan masa sangat berpengaruh terhadap keberhasilan di tahapan ini. Pada tahapan ini kita akan menentukan *computational domain*, *engineering database*, penentuan ukuran *meshing*, menentukan *boundary condition* atau kondisi batas, dan menentukan parameter yang ingin dicapai sebagai tujuan *kovergen*.

b. Tahap Pemecahan Masalah

Tahap ini merupakan tahap pencarian solusi. Pada tahapan ini semua dilakukan oleh komputer dengan menggunakan algoritma numerik berdasarkan persamaan persamaan kontinuitas 3 dimensi, persamaan *Navier-Stokes*, dan persamaan energi. Pada tahapan ini *user* tidak perlu repot-repot menghitung, hanya mungkin mengawasi saja proses perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui terjadi kesalahan atau tidak. Perhitungan dapat saja terjadi dalam waktu yang lama sebelum mencapai *kovergen* mengingat proses perhitungannya secara numerik. Sehingga bagi yang lebih *expert* dapat mencari tahu cara untuk menggunakan *paralel computing* dalam proses ini untuk membagi beberapa *resource* komputer dalam melakukan satu perhitungan agar waktu iterasi *software* dapat lebih cepat. Biasanya

software CFD memiliki fasilitas *paralel computing* seperti yang di temui dalam *Solidwork*.

c. Tahap Setelah Pengolahan

Tahap ini *user* menganalisa validitas dan akurasi hasil dari tahap pemecahan masalah serta menentukan bagaimana hasil tersebut ditampilkan. Tampilannya dapat berupa gambar geometri, grafik, atau angka hasil iterasi.

2. Analisa CFD Menggunakan *SolidWorks Flow Simulation*

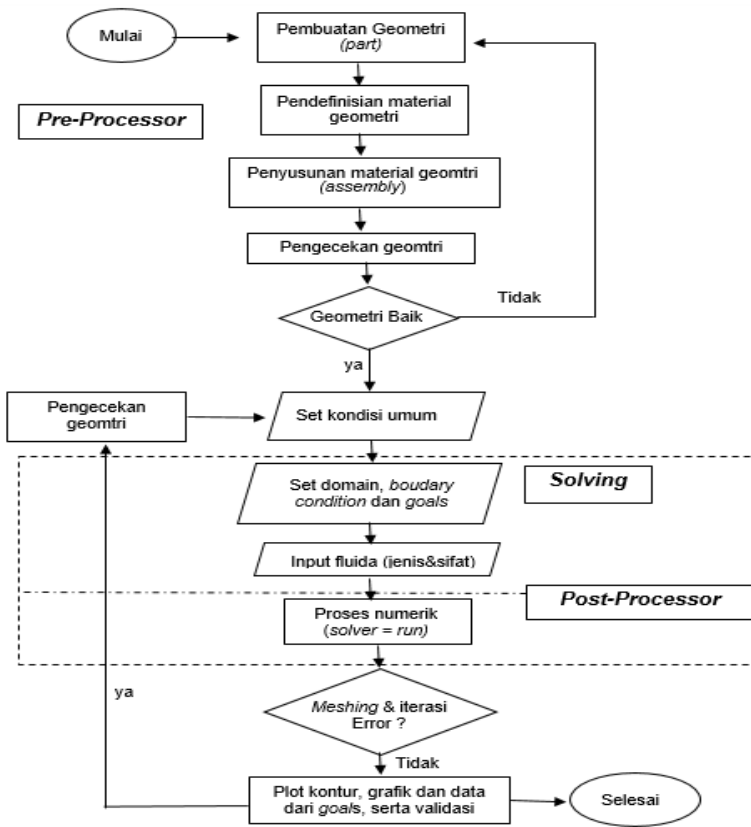
Terintegrasi dengan *SolidWorks CAD*, CFD analisis menggunakan *SolidWorks Flow Simulation* dapat mengurangi kebutuhan untuk membuat prototipe yang biasanya memakai biaya mahal, mengeliminasi pekerjaan *rework* dan mengurangi *delivery time*, dan menghemat waktu serta biaya pengembangan, Sakti (2013).

Sakti (2013), Cakupan kemampuan *SolidWorks Flow Simulation* antara lain:

- Aliran fluida gas dan cair dengan konsep perpindahan panas
- Aliran *internal* dan *external*
- Aliran laminar, turbulen, dan transisi
- Aliran *time dependent* (transient)
- Aliran dalam *region subsonic, transonic, dan supersonic*
- Aliran gas *mixture, liquid mixture*
- Analisa penggabungan perpindahan panas
- Perpindahan panas dalam media solid
- *Incompressible and compressible liquidcompressible gas*
- Gas mulia
- Aliran uap air (steam)

- *Non-Newtonian liquid* (untuk mensimulasikan darah, madu, lelehan plastik)

Untuk menjalankan simulasi dengan menggunakan software *SolidWorks Flow Simulation* dapat dilakukan dengan tahapan yang tergambar pada skema Gambar 16.



Gambar 16. Alur proses simulasi *Class Room* Fakultas Teknik UNHAS Gowa dengan menggunakan *SolidWorks Flow Simulation*

BAB VI

IMPLEMENTASI STRATEGI PENGALIRAN UDARA UNTUK KENYAMANAN TERMAL RUANG DENGAN METODE SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Hasil rekayasa eksternal diketahui tipe aliran angin menuju *Class Room* termasuk tipe laminar yang mengalami penurunan kecepatan setelah melewati gedung yang menghalangi. Gerakan aliran turbulensi terjadi setelah angin melewati sisi depan gedung, kemudian membentuk formasi arah yang acak dan bergolak dengan kecepatan yang jauh menurun. Tidak terjadi aliran udara yang telah

melewati gedung berbalik membentur selubung bangunan *Class Room* dari arah yang berlawanan.

Rekayasa terhadap kecepatan angin eksternal dengan *velocity input* 0.5 m/s, 1.0 m/s, 1.5 m/s, 1.75 m/s, 2.0 m/s dan 4.0 m/s didapatkan kecepatan angin yang tiba di permukaan dinding *Class Room* sebelah Selatan antara 0.21-3.00 m/s dan sisi Barat antara 0.55-2.26 m/s. Data ini menunjukkan bahwa sisi Selatan menerima kecepatan angin lebih besar dari sisi Barat yang diduga disebabkan kinerja dari sirip-sirip pengarah angin yang terdapat pada permukaan fasade.

Pada penelitian ini di dapatkan bahwa peningkatan kecepatan angin lingkungan tidak serta merta meningkatkan kecepatan udara yang tiba pada selubung bangunan *Class Room*, tingkat kecepatan angin yang tiba pada bangunan dipengaruhi oleh perbedaan tekanan udara

permukaan selubung bangunan. Tekanan udara dipengaruhi oleh *velocity* dan bentuk geometri bangunan.

Penelitian ini menemukan bahwa kondisi eksisting Ruang Kelas (RK) hanya dapat memberikan aliran udara nyaman sekitar 51.85% hingga 85.19% dari volume ruang. Upaya untuk meningkatkan aliran udara dengan pemberian *velocity inlet* yang lebih tinggi dari 2 m/s justru mengakibatkan presentase kecepatan aliran udara diatas batas nyaman meningkat. Kondisi ini disebabkan oleh kurangnya luas bukaan *inlet* dan *outlet*, karena RK tipe-A hanya memiliki luas bukaan (16.63%), dan RK tipe-B (17.58%) dari luas lantai ruangan. Jika dibandingkan dengan penemuan Indrani (2008), yang mensyaratkan luasan ventilasi minimum 20% dari luas lantai ruangan, maka rasio luas bukaan RK masih kurang.

Rekayasa dilakukan untuk meningkatkan aliran udara lebih optimal dengan menambah luas bukaan *inlet*, membuka jendela-jendela kaca mati agar dapat dilalui udara segar dari luar bangunan. Penambahan luas bukaan juga diterapkan pada dinding yang berfungsi sebagai *outlet* aliran keluar menuju koridor. Hasil rekayasa di dapatkan, penambahan luas bukaan *outlet* yang terbaik jika letaknya ± 20 cm diatas lantai dengan luas setengah dari bukaan ventilasi diatasnya (*bovenlicht*). Sehingga didapatkan luas bukaan ventilasi terbaik untuk RK adalah 21.60% dari luas lantai ruangan, dengan rincian luas bukaan *Inlet* 14.50% dan luas bukaan *outlet* 7.10%.

Dari penelitian ini juga didapatkan, bukaan *Inlet* yang lebih luas dibanding *outlet* akan meningkatkan *velocity* udara yang lebih merata pada ruangan. Udara yang akan keluar akan

terhambat karena bukaan *outlet* kecil, sehingga akan meningkatkan tekanan statis pada area di bawah bukaan. Variasi bukaan dapat diterapkan untuk meningkatkan kecepatan udara yang lebih merata dalam ruangan, namun harus diterapkan dengan cermat dan memenuhi syarat luasan total *outlet* lebih kecil dari *Inlet*, seperti yang diterapkan pada penelitian ini dengan memvariasikan bukaan *outlet* di bidang dinding bagian bawah.

Penambahan luasan bukaan ventilasi pada ujung koridor Timur seluas 1,4 m² ternyata memberi pengaruh peningkatan kecepatan angin yang lebih merata pada seluruh ruangan koridor.

Pada kasus *Class Room*, didapatkan bahwa efek cerobong (*chimney effect*) dapat meningkatkan kecepatan udara dalam ruangan lebih tinggi dan lebih merata dibanding menggunakan *Exhaust Fan*.

BAB VII PENUTUP

Penambahan luas bukaan ventilasi Ruang Kelas hingga mencapai 21.60% dari luas lantai ruangan, dengan rincian luas bukaan *Inlet* 14.50% dan luas bukaan *outlet* 7.10%, untuk mengoptimalkan sirkulasi udara.

Pintu kelas sebaiknya di tutup pada saat ruang kelas digunakan. Penambahan luas jendela ujung koridor Timur seluas 1,4 m². Semua kaca mati pada dinding sisi Timur dan Barat void harus di buka mulai lantai satu hingga ventilasi bawah atap.

Pada saat Gedung *Class Room* dipakai disarankan pintu entance Timur dan Barat dalam posisi terbuka. Pemakaian *Exhoust Fan* untuk mengalirkan udara keluar bangunan jika angin eksternal minim.

Pada penelitian lanjut disarankan agar kajian lebih cermat dengan menggunakan peralatan yang lebih akurat. Perlu penelitian lebih lanjut tentang pengaliran udara dengan menggunakan *Exhaust Fan* pada *Clas Room*, untuk menilai tingkat efisiensi terhadap penggunaan energi bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, M. (2008, November 17). *Comfort Zones Chart Shifted on Psychrometric Chart*. Dipetik Pebruari 25, 2013, dari Flickr: <http://www.flickr.com/photos/mitopencourseware/3038192111/#/>
- ANSI/ASHRAE-55. (2010). ASHRAE Standard Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. USA: ASHRAE.
- ASHRAE. (2004). Thermal Environmental Condition for Human Occupancy (ASHRAE Standard 55). ASHRAE: Atlanta US.
- Baharuddin, Ishak, M.T., Beddu, S., Yahya, M. (2012). Kenyamanan Termal Gedung Kuliah Bersama Kampus Baru Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Semesta Arsitektur Nusantara SAN 1. Ref No: B.4.4. Malang: san121212.
- Baharuddin, Ishak, M.T., Beddu, S., & Osman, M.Y. (2013). Analisis Kenyamanan dan Lingkungan Termal pada Ruang Kuliah dengan Ventilasi Alami (Studi Kasus: Kampus II Fakultas Teknik Unhas Gowa). Semesta

- Arsitektur Nusantara SAN 2. Malang: san111213.
- Buratti, C., & Ricciardi, P., (2009). Adaptive Analysis of The Thermal Comfort in University Classrooms: Carrelation Between Experimental Data and Mathematical Models. *Building and Environment*, 44 (4): 674-687.
- Bhattacharya, Y., Milne, M. (2012). *Psychrometric Chart Tutorial: A Tool For Understanding Human*. Los Angeles: University of California Los Angeles Dept. of Architecture and Urban Design.
- BPS-Gowa. (2010). *Kabupaten Gowa dalam Angka 2010*. Sungguminasa : Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Gowa.
- Busato, L. (2003). Passive Cooling and Energy Efficiet Strategies for The Design of a Hotel on The Southern Coast of Pernambuco
- Brazil. Thesis, : Architecture, Energy and Sustainability. LEARN, London Metropolitan University.
- Center, I. E. (2013). Geography and Wind. Dipetik Desember 19, 2013, dari <http://www.iowaenergycenter.org/wind-energy-manual/wind-and-wind-power/geography-and-wind/>

- Chenvidyakarn, T. (2007). Review Article: Passive Design for Thermal Comfort in Hot Humid Climates. *Journal of Architectural / Planning Research and Studies* , 1-27.
- Cherian, R. (2011). Natural ventilation for high-rise buildings in a hot humid clim. *Proceedings of Conference: People and Buildings*. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings (NCEUB).
- Corgnati, S.P., Filippi, M. & Viazzo, S. (2007). Perception of The Thermal Environment in High School and University Classrooms: Subjective Preferences and Thermal Comfort. *Building and Environment*, 42 (2): 951-959
- Corgnati, S.P., Ansaldi R., & Filippi, M. (2009). Thermal Comfort in Italian Classrooms Under Free Running Conditions During Mid Season: Assessment Through Objective and Subjective Approaches. *Buildings and Environment*, 44 (4): 785-792.
- Dahlan, M.S. (2011). Statistik untuk Kedokteran dan Kesehatan. Jakarta: Salemba Medika
- Engel, P. K. (2012). Natural and hybrid ventilation principles based on buoyancy, sun and wind. *REHVA Journal* , 25-32.

- Febrita, Y. (2011). Ventilasi Solar Chimney Sebagai Alternatif Desain Passive Cooling di Iklim Tropis Lembab. *Jurnal "Ruang"* Volume 2 Nomor 1, Maret 2011.
- Frick, H. Suskiyanto FX. B. (2011). *Dasar-dasar Arsitektur Ekologi*. Bandung: Penerbit Kanisius.
- Gatley, D. (2004). Psychrometric Chart Celebrates 100th Anniversary. The following article was published in ASHRAE Journal , 16-20.
- Geetha, N.B., Velraj, R. (2012). Passive Cooling Methods for Energy Efficient Buildings With and Without Thermal Energy Storage – A Review. *Energy Education Science and Technology* , 913-946.
- Gratia, E., Bruyère, A., De Herde, A. (2004). How to use natural ventilation to cool narrow office buildings. *Building and Environment*. 2004,. *Elsevier (Building and Environment)*, 1157-1170.
- Hassan, M. G.-S. (2007). Investigation of Effects of Window Combinations On Ventilation Characteristics for Thermal Comfort in Buildings. *Elsevier* , 251-260.
- Huda, L.N., Pandiangan, K.C. (2012). Kajian Termal Akibat paparan Panas dan Perbaikan

- Lingkungan Kerja. *Jurnal Teknik Industri* , 14 (2), 129-136.
- Hwang, L.R., Lin, T.P. & Kao, N.J. (2006). Field Experiments on Thermal Comfort in Campus Classrooms in Taiwan. *Energy and Buildings*, 38 (1): 53-62.
- Indrani, H. (2008). Kinerja Ventilasi Pada Hunian Rumah Susun Dupak Bangunrejo Surabaya. *Dimensi Interior* , 6 (1), 9-23.
- ISO-7730. (1994). Moderate Thermal Environments -- Determination of The PMV and PPD Indices and Specification of The Conditions for Thermal Comfort. Switzerland: International Organization for Standardization.
- Karyono, T. (2007b). Bandung Thermal Comfort Study: Assessing the Applicability of an Adaptive Model in Indonesia. *Architectural Science Review* , 59-64.
- Karyono, T. (2007a). Dari Kenyamanan Termis Hingga Pemanasan Bumi: Suatu Tinjauan Arsitektur dan Energi. Pidato Pengukuhan Guru Besar Tetap Dalam Ilmu Arsitektur. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara.

- Karyono, T. (2010). *Green Architecture: Pengantar Pemahaman Arsitektur Hijau di Indonesia*. Jakarta: PT. Rajagrafindo Persada.
- Kurnia, R., Effendy, S., Tursilowati, L. (2010). Identifikasi Kenyamanan Termal Bangunan (Studi Kasus: Ruang Kuliah Kampus IPB Baranang siang dan Darmaga Bogor). *Jurnal Agromet*, 24 (1), 14-22.
- Kwok, A.G., & Chun. C., (2003). Thermal Comfort in Japanese Schools. *Solar Energy*, 74 (3): 245-252.
- Lechner, N. (2007). *Heating, Cooling, Lighting: Metode Desain Untuk Arsitektur*. (S. Sandriana, Penerj.) Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Liping, W., and Hien, W.N. (2007a). Applying Natural Ventilation for Thermal Comfort in Residential Buildings in Singapore. *Journal Architectural Science Review*, 224-233.
- Liping, W., and Hien, W.N. (2007b). The impacts of ventilation strategies and facade on indoor thermal environment for naturally ventilated residential buildings in Singapore. *Elsevier*, 4064015.
- Lippsmeier, G. (1994). *Bangunan Tropis*. (S. Nasution, Penerj.) Jakarta: Erlangga.

- Longo, T.A., Melo, A.P., Ghisi, E. (2011). Thermal Comfort Analysis of A Naturally Ventilated Building. 12th Conference of International Building Performance Simulation (hal. 20042010). Sydney: Proceedings of Building Simulation 2011.
- Mannan, A. (2007). Faktor Kenyamanan Dalam Perancangan Bangunan (Kenyamanan Suhu - Termal Pada Bangunan). Jurnal Ichsan Gorontalo , vol. 2 No.1, 466-473.
- Mendell, M.J., & Heath, G.A. (2005). Do Indoor Pollutants and Thermal Conditions in Schools Influence Student Performance? A Critical Review of The Literature. *Indoor Air*, 15: 27-32.
- Meteotest. (2011). Weather file. Dipetik 2011, dari Meteotest: <http://www.meteonorm.com>
- Milne, M., Liggett, R., and Al-Shaali (2012). *Climate Consultant 3.0: A Tool For Visualizing Building Energy Implications Of Climates*. Los Angeles: UCLA Department of Architecture and Urban Design.
- Mors, S., Hensen, J.L.M., Loomans, M., dkk. (2011). *Adaptive Thermal Comfort in Primary School*

- Classrooms: Creating and Validating PMV-based Comfort Charts. *Building and Environment*, 46 (12): 2454-2461.
- Pandiangan, K.C., Huda, L.N., Rambe, A.J.M. (2013). Analisis Perancangan Sistem Ventilasi Dalam Meningkatkan Kenyamanan Termal Pekerja di Ruang Formulasi Pt Xyz. *Jurnal Teknik Industri FT USU*, I (No.1), 1-6.
- Rahim, H. (2002). Pengaruh Orientasi Bangunan Terhadap Temperatur Ruang Pada Rumah Sederhana Type 21 Perumnas BTP Makassar. Makassar: Tugas Akhir Program Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin Makassar.
- Raja, I.A, Nicol, J.F., McCartney, K.J., Humphreys, M.A. (2001). Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. *Elsevier (Energy and Buildings)*, 235-244.
- Ramponi, R., Blocken, B. (2012). CFD Simulation of Cross-Ventilation for A Generic Isolated Building: Impact of Computational Parameters. *Elsevier*, 38-48.
- Rosadi, H.E. dkk. (2012). Pengaruh Sudut Kemiringan Atap Bangunan dan Orientasi Terhadap Kualitas Termal. *Temu Ilmiah IPLBI*, (hal. 93-96).

- Sangkertadi. (1998). Simulasi Kenyamanan Termal untuk Lingkungan Beriklim Tropis Lembab.
- Satwiko, P. (2009). Fisika Bangunan. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- SNI-03-6572. (2001). Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara.
- Soegijanto. (1999). Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembap Ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan. Jakarta: Direktorat Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Stephen, C. T. (2011). What's New in ASHRAE's Standard on Comfort. *ASHRAE Journal* , 42-48.
- Sugini. (2004). Pemaknaan Istilah- Istilah Kualitas Kenyamanan Thermal Ruang Dalam Kaitan Dengan Variabel Iklim Ruang. *LOGIKA* , 03-17.
- Suwantara, I.K., Damayanti, D.P., Suprijanto, I. (2012). Karakteristik Termal Pada Uma Lengge di Desa Mbawa Nusa Tenggara Barat. *Dimensi* , 39 (1), 5-14.
- Takahashi, I. (2005). Development of A Passive Cooling Strategy Using Double - Roofing System. *The 2005 World Sustainable Building Confrence* (hal. 91-96). Tokyo: SB05 Tokyo.

- Talarosha, B. (2005). Menciptakan Kenyamanan Thermal Dalam Bangunan. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, Volume 6, 148158.
- Tantasavasdi, C., Srebric, J., Chen, Q. (2001). Natural Ventilation Design for Houses in Thailand. *Energy and Buildings*, 815-824.
- Teli, D., Jentsch, M.F., & James, P.A.B. (2012). Naturally Ventilated Classrooms: An Assessment of Existing Comfort Models for Predicting the Thermal Sensation and Preference of Primary School Children. *Energy and Buildings*, 35: 166-182.
- Wong, N.H., & Khoo, S.S. (2003). Thermal Comfort in Classrooms in The Tropics. *Energy and Buildings*, 35 (4): 337-351.
- Thomas, M. (2012, April 28). Comfort Cooling in Buildings. Dipetik Januari 12, 2013, dari Noesis: Energy / Forward: <https://www.noesisenergy.com/site/noesis-corporateblog/comfort-cooling-buildings>
- Tuakia, F. (2008). Dasar-dasar CFD Menggunakan Fluent. Bandung: Informatika.
- Turbines, A. W. (2008). Adjusting Wind Speeds. Dipetik Desember 19, 2013, dari

http://www.aerostarwind.com/adjusting_wind_speeds.html

Visitsak, S. (2007). An Evaluation Of The Bioclimatic Chart For Choosing Design Strategies For A Thermostatically-Controlled Residence In Selected Climates. Texas A&M University: Dissertation.

Yayasan LPMB-DPU. (1993). *Standar: Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung*. Bandung: Yayasan LPMB.