

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Kondisi Iklim Tropis

Iklim merupakan rata-rata kondisi cuaca tahunan yang meliputi wilayah relatif luas. Tropis dapat didefinisikan sebagai daerah yang terletak di antara garis isotherm di sebelah bumi utara dan selatan atau daerah yang terdapat di antara  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  lintang utara dan  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  lintang selatan. Pada dasarnya wilayah yang termasuk iklim tropis dapat dibedakan menjadi daerah tropis kering yang meliputi padang pasir, stepa, dan savana kering dan daerah tropis lembap yang meliputi hutan tropis, daerah-daerah dengan angin musim dan savana lembap. (<http://kopite-geografi.blogspot.com>)

##### 2.1.1 Karakteristik iklim tropis

Karakteristik iklim tropis adalah memiliki temperatur yang tinggi sepanjang tahun yaitu sekitar  $27^{\circ}\text{C}$  dan range rata-rata temperatur bulanan sekitar  $1-3^{\circ}\text{C}$  sedangkan kelembapan rata-rata harian relatif konstan sekitar 75%, namun kisaran kelembabannya adalah 55% sampai hampir 100%. Curah hujan tinggi hampir sepanjang tahun rata-rata 70 mm/tahun. Relative humidity berkisar sekitar 90%. Kondisi angin tergantung pada jarak dari laut dan bervariasi sepanjang tahun. Langit hampir setiap saat berawan (Givoni, 1998)

##### 2.1.2 Wilayah dan kondisi iklim Kota Malang

Kota Malang terletak pada posisi  $112.06^{\circ} - 112.07^{\circ}$  Bujur Timur,  $7.06^{\circ} - 8.02^{\circ}$  Lintang Selatan. Wilayahnya merupakan dataran tinggi dengan ketinggian 440 - 667 meter di atas permukaan laut (Malang Dalam Angka, 2011) :

1. Sebelah Utara : Kec. Singosari dan Kec. Karangploso Kab. Malang.
2. Sebelah Timur : Kec. Pakis dan Kec. Tumpang Kab. Malang.
3. Sebelah Selatan : Kec. Tajinan dan Kec. Pakisaji Kab. Malang.
4. Sebelah Barat : Kec. Wagir dan Kec. Dau Kab. Malang.

Menurut BMKG Karangploso Kota Malang (2014), kondisi iklim kota Malang rata-rata memiliki suhu udara berkisar antara  $22,7^{\circ}\text{C} - 25,1^{\circ}\text{C}$  dengan suhu tertinggi  $30,3^{\circ}\text{C}$  dan terendah  $18,4^{\circ}\text{C}$ . Kelembaban udara rata-rata berkisar 76% - 80% dengan nilai maksimum 95% dan minimum 45%. Curah hujan tinggi umumnya terjadi pada

bulan Februari, Nopember, Desember. Sedangkan curah hujan terendah ada pada bulan Juni dan September. Kecepatan angin relative rendah berkisar 6-8 km/jam. Dari arah Tenggara ke Barat Daya.

## 2.2 Sistem Penghawaan Alami

Penghawaan alami atau ventilasi alami adalah proses pertukaran udara di dalam bangunan dengan udara dari luar bangunan melalui bantuan elemen-elemen bangunan yang terbuka. Proses ini akan mengganti udara kotor (mengandung CO<sub>2</sub>) hasil aktivitas di dalam bangunan dengan udara bersih yang lebih banyak mengandung O<sub>2</sub>. Sebuah bangunan perlu menerapkan siasat desain sedemikian rupa, agar udara mengalir dengan baik dari luar ke dalam ruang dan sebaliknya. Untuk itu perlu peletakan lubang ventilasi secara *cross ventilation* adalah sistem ventilasi alami yang paling efektif untuk mencapai tingkat ventilasi ini. (Sumber : <http://journal.unisfat.ac.id>)

### 2.2.1 Ventilasi

Ventilasi adalah proses menggerakkan udara dari luar ke arah dalam gedung. Ventilasi juga didefinisikan sebagai suatu proses “pengolahan” atau mengganti udara dalam ruang apapun untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan, yaitu untuk mengontrol suhu, mengisi oksigen, atau menghilangkan kelembaban, bau, asap, panas, debu, bakteri di udara dan karbon dioksida. Selain itu ventilasi digunakan untuk menghilangkan bau tak sedap dan kelembaban yang berlebihan, memasukan udara luar, untuk menjaga sirkulasi udara didalam bangunan. (<http://ikl-mdo.blogspot.com>)

Tujuan Ventilasi :

- a. Menghilangkan gas-gas yang tidak diharapkan yang ditimbulkan oleh keringat dan sebagainya, serta gas-gas pembakaran (CO<sub>2</sub>) yang ditimbulkan oleh pernafasan dan proses-proses pembakaran.
- b. Menghilangkan uap air yang timbul sewaktu memasak, mandi dan sebagainya.
- c. Menghilangkan kalor (panas) yang berlebihan.
- d. Membantu mendapatkan kenyamanan termal.



### 2.2.2 Ventilasi alami

Ventilasi alami adalah proses memasukkan dan mengeluarkan udara di dalam ruang bangunan tanpa menggunakan sistem mekanik. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara atau temperatur didalam dan diluar ruangan. Ada dua jenis ventilasi alami yang ada pada bangunan yaitu ventilasi angin dan ventilasi apung. Ventilasi angin penggerak utamanya adalah angin, sedangkan ventilasi apung terjadi sebagai akibat dari gaya apung yang dihasilkan dari perbedaan suhu antara di dalam dan di luar ruangan. (<http://ikl-mdo.blogspot.com>)

Berdasarkan SNI 03-6572-2001 (lampiran hal 89) ventilasi alami terjadi adanya perbedaan tekanan udara di luar suatu bangunan yang disebabkan oleh angin dan karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terdapat gas-gas panas yang naik di dalam saluran ventilasi. Ventilasi alami yang disediakan harus terdiri dari bukaan permanen, jendela, pintu atau sarana lain yang dapat dibuka, dengan :

- a. Jumlah bukaan ventilasi tidak kurang dari 5% terhadap luas ruangan yang membutuhkan ventilasi.
- b. Arah yang menghadap halaman ber dinding dengan ukuran yang sesuai, atau daerah yang terbuka keatas.
- c. Teras terbuka, pelataran parkir, atau
- d. ruang yang bersebelahan.

### 2.2.3 Pemanfaatan ventilasi alami (Sustainability Victoria, n.d.)

Seperti diketahui ventilasi alami adalah sebuah sistem yang menggunakan kekuatan alam untuk memasok udara segar ke dalam ruang suatu bangunan. Pertukaran udara dicapai melalui inlet dan outlet yang dirancang pada gedung. Terdapat dua bentuk ventilasi yaitu ventilasi alami dan ventilasi mekanik yang keduanya beroperasi dalam prinsip yang berbeda. Ventilasi mekanik menggunakan kipas angin untuk pertukaran udara, sedangkan ventilasi alami ditentukan oleh apung termal dan angin yang keduanya tergantung pada cuaca yang tak menentu.

Ventilasi alami adalah teknik manajemen yang menarik karena kipas dan pemeliharaan fan beban dieliminasi. Desain atap, desain bukaan besar untuk ventilasi, membangun orientasi, penghuni, dan akhirnya air di luar merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil dari proses ventilasi. Bukaan terletak di sepanjang dinding samping yang disebut 'dinding samping bukaan', dan pembukaan di puncak atap, atau ridge, disebut 'pembukaan punggungan. Variasi ada dalam bentuk atap interior sendiri

karena kemiringan dan gaya dan ini pada gilirannya dapat mempengaruhi “cerobong asap” efek yang berkembang di dalam gedung. Para penghuni (unggas dalam hal ini) juga mempengaruhi kinerja bangunan berventilasi alami. Kepadatan penduduk mempengaruhi respon dari sebuah bangunan untuk perubahan ventilasi serta distribusi udara segar di dalam gedung. Efek simultan dari semua komponen tersebut menentukan keberhasilan bangunan berventilasi alami.

Beberapa keuntungan utama dan kerugian dari bangunan ventilasi alami dibandingkan dengan bangunan ventilasi mekanik adalah :

- a. Keuntungan ventilasi alami adalah biaya, pemeliharaan dan penggunaan listrik lebih rendah.
- b. Kekurangan harus melakukan pengontrolan yang lebih rutin, penggantian secara periodik penutup terbuka karena masuknya hujan atau sinar matahari dalam bangunan.

(<https://www.scribd.com/doc/21612235/Natural-Ventilation-Systems>)

Selain itu apabila dibandingkan dengan penghawaan buatan (AC) maka ventilasi alami dapat menghemat biaya untuk pengkondisian udara karena tidak terlalu banyak memanfaatkan sistem penghawaan buatan atau *Heating Ventilation and Air Conditioning* (HVAC) dan tetap mampu memberikan rasa nyaman bagi pengguna. Suatu penelitian menunjukkan dengan memanfaatkan ventilasi alami dan digabungkan dengan sistem penghawaan buatan gedung dapat mengurangi 20% - 30% penggunaan energi.

#### 2.2.4 Desain bukaan dalam sistem ventilasi alami

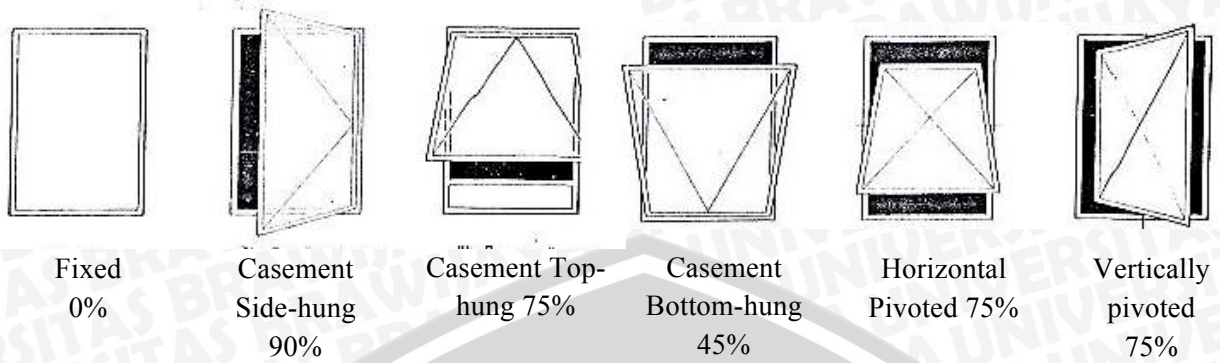
Desain bukaan ventilasi udara sangatlah berpengaruh terhadap upaya pemanfaatan angin dalam pengkondisian ruangan. Desain bukaan juga dapat disesuaikan dengan kebutuhan akan aliran udara.

- a. Bukaan Ventilasi

Pengaruh bukaan ventilasi sangatlah berpengaruh terhadap upaya pemanfaatan angin dalam pengkondisian ruangan. Pengarah pada inlet akan menentukan arah gerak dan pola udara dalam ruang, sehingga perbedaan bentuk pengarah akan memberikan pola aliran udara yang berbeda-beda. Penggunaan kanopi pada bukaan inlet akan mengarahkan aliran udara ke atas dibandingkan bukaan inlet tanpa kanopi.



### b. Tipe Bukaannya Ventilasi



**Gambar 2.1** Desain bukaan ventilasi  
Sumber: Beckett, HE, 1974, Godfrey, JA.

Tipe bukaan ventilasi yang berbeda akan memberi sudut pengarah yang berbeda dalam menentukan arah gerak udara dalam ruang serta efektifitas berbeda dalam mengalirkan udara masuk/ keluar ruang.

### c. Dimensi Bukaannya Ventilasi

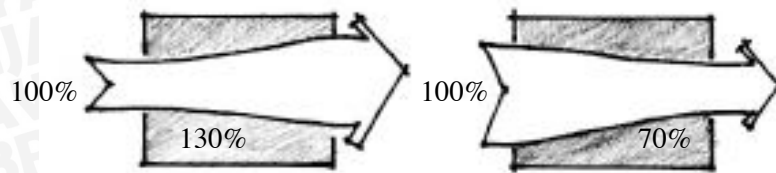
Semakin besar perbandingan luas outlet terhadap luas inlet, maka akan menciptakan kecepatan angin yang lebih tinggi, yang juga menghasilkan penyejukan lebih besar.

### d. Desain Ventilasi/Jendela

Desain jendela dipengaruhi faktor-faktor meliputi penempatan, dimensi dan tipe atau model jendela yang dipilih. Pada layout bangunan satu lapis sangat dimungkinkan terjadinya ventilasi silang sempurna (sudut  $180^\circ$ ) secara horisontal. Ventilasi silang juga akan lebih maksimal apabila penempatan secara vertikal ikut diperhitungkan. Jendela yang berfungsi sebagai inlet (memasukkan udara) sebaiknya diletakkan pada ketinggian manusia yaitu 60 cm - 150 cm (aktivitas duduk maupun berdiri), agar udara dapat mengalir di sekitar manusia tersebut untuk memperoleh rasa nyaman yang diharapkan. Sedangkan jendela yang berfungsi sebagai outlet (mengeluarkan udara) diletakkan lebih tinggi, agar udara panas dalam ruang dapat dengan mudah dikeluarkan.

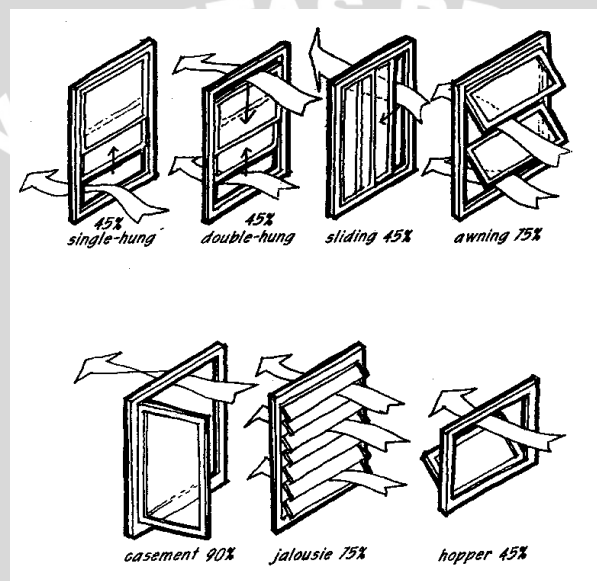
Ventilasi akan lebih lancar bila didukung dengan kecepatan udara yang memadai. Pada kondisi udara hampir tidak bergerak (kecepatan sangat kecil atau 0 m/det), desain jendela harus mampu mendorong terjadinya pergerakan yang lebih cepat atau memperbesar kecepatan udara. Hal ini dapat ditempuh dengan memilih dimensi

jendela yang berbeda antara inlet dan outlet (Gambar 2.3) atau dengan memilih tipe jendela yang berbeda kemampuan mengalirkan udara (Gambar 2.4).



**Gambar 2.2** Perbedaan dimensi inlet dan outlet

Sumber : Jurnal desain jendela bangunan domestic untuk mencapai "cooling ventilation"



**Gambar 2.3** Tipe jendela efektif yang mengalirkan udara [Moore, 1993]

Sumber : Jurnal desain jendela bangunan domestic untuk mencapai "cooling ventilation"

### 2.2.5 Kecepatan angin dalam bangunan

Kecepatan angin dalam batas tertentu di dalam bangunan dapat dimanfaatkan untuk menciptakan kenyamanan termal penghuni. Dimana keberadaan angin tersebut mampu membantu proses penguapan keringat kulit akibat kelembaban udara yang berlebih. Proses penguapan kulit tersebut pada akhirnya akan menimbulkan perasaan sejuk (nyaman secara termal) di seputar kulit tubuh manusia.

**Tabel 2.1** Efek kecepatan angin pada manusia

Sumber: fisika bangunan 1

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

### 2.2.6 Pergantian udara per-jam (ACH)

Pergantian udara per-jam (ACH, *Air Chang rate per Hour*) adalah jumlah pergantian seluruh udara dalam ruangan dengan udara segar dari luar setiap jam-nya. Proses pergantian udara ini sangat tergantung pada rancangan bangunan dan lingkungan di sekitarnya. Penempatan dan ketinggian jendela, luas bukaan inlet dan outlet jendela, model bukaan jendela dan bentuk atap bangunan akan mempengaruhi kecepatan udara di dalam ruang, sedangkan arah, kecepatan angin, kerapatan dan ketinggian bangunan sekitar layak diperhitungkan sebagai filter ataupun pengarah aliran angin masuk dalam bangunan.

Adapun rate ACH ideal bagi suatu ruang tergantung pada tujuan yang hendak dicapai. Menurut EnREI (*Energy Related Environmental Issues*), untuk tujuan kesehatan dan kenyamanan penghuni diperlukan nilai pertukaran udara berkisar sebesar 0,5 - 5 ACH. Hal ini sesuai dengan standart kebutuhan udara yang bersumber dari EnREI 1991, periksa tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Standart kebutuhan udara.

Sumber : EnREI (1991)

Tujuan	Standart kebutuhan (ACH)	Standart kebutuhan (liter/detik m <sup>2</sup> )
Kesehatan	0.5 - 1	0.4 - 0.8
Kenyamanan	1 - 5	0.8 - 4



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

$$ACH = (Q/V) \times 3600 \dots\dots\dots(1)$$

Dimana,

Q = tingkat penghawaan alami (m<sup>3</sup>/s), dan

V = volume ruangan (m<sup>3</sup>)

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

$$Q = 0.025 \times A \times v \dots\dots\dots(2)$$

Dimana,

A = luas bukaan (m<sup>2</sup>)

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

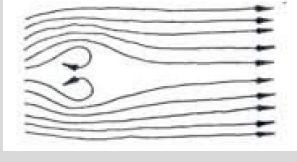
0.025 = faktor pengali

(Sumber : <http://e-journal.uajy.ac.id/>)

### 2.2.7 Prinsip pergerakan udara

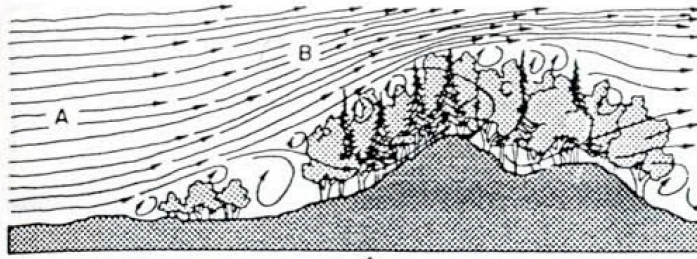
Terdapat tiga kategori pola pergerakan udara yaitu :

Tabel 2.3 Kategori pola pergerakan udara

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

Pergerakan udara dapat berubah dari kategori yang satu ke yang lain sepanjang waktu dan pada jarak tertentu. Sebagai contoh pergerakan udara laminar dapat menjadi turbulen apabila tingkat kekasaran topografi semakin besar seperti gambar 2.4.





**Gambar 2.4** Perubahan pola pergerakan udara dari (A) laminar ke (B) terpisah ke (C) turbulen  
(Sumber: *Controlling Air Movement*, hal 43)

### 2.3 Bangunan Berlantai Banyak

Bangunan berlantai banyak atau disebut sebagai bangunan tinggi adalah suatu bangunan yang memiliki struktur tinggi. Penambahan ketinggian bangunan dilakukan untuk menambahkan fungsi dari bangunan tersebut.

#### 2.3.1 Karakteristik bangunan berlantai banyak

Bangunan tinggi secara umum memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Ketinggian lebih dari 23 m, tinggi rata-rata satu tingkat 4 meter.
- Memiliki struktur rangka dan penahan angin.
- Umumnya menggunakan fondasi dalam (fondasi tak langsung) baik berupa tiang pancang, tiang bor ataupun fondasi rakit (basement) dengan fondasi tiang.
- Memiliki sistem transportasi vertical.
- Menggunakan sistem tata udara *Heating Ventilation and Air Conditioning* (HVAC) untuk pengkondisian udara dalam bangunan.
- Dilengkapi sistem pemadam kebakaran dan tangga darurat.
- Memiliki sistem pemipaan bangunan tinggi untuk sanitasi dan air bersih.

(Sumber : Wikipedia.org)

#### 2.3.2 Perancangan bangunan berlantai banyak pada iklim tropis

Sasaran utama sebuah desain adalah untuk memberikan kenyamanan kepada penghuni atau pengguna bangunannya. Pada iklim tropis yang kelembabannya cukup tinggi seperti di kota Malang, sasaran utama desain bangunan antara lain :

- Meminimalkan panas pada bangunan.
- Memaksimalkan pendinginan.
- Menyediakan ventilasi alami yang efektif.
- Mencegah masuknya/perembesan air hujan.

- e. Mencegah masuknya serangga ketika jendela terbuka untuk ventilasi.
- f. Menyediakan ruang untuk aktivitas semi outdoor sebagai bagian dari *living space*.

Agar dapat tercapai sasaran utama dari sebuah desain yaitu kenyamanan bagi penghuni atau pengguna bangunan perlu memperhatikan elemen bangunan pada saat proses desain. Elemen-elemen bangunan yang akan mempengaruhi hasil dari sasaran desain tersebut antara lain:

- a. *Site landscaping*
- b. Layout bangunan
- c. Orientasi ruang utama dan bukaan
- d. Ukuran dan detail jendela dan pintu
- e. Susunan dan pembagian ruang dalam
- f. Pembayaran bukaan dan dinding
- g. Teras dan balkon
- h. Tipe dan detail atap
- i. Material dari dinding dan atap

## 2.4 Faktor yang Mempengaruhi Pengkondisian Udara Dalam Bangunan

Sistem tata udara pada bangunan tinggi umumnya menggunakan mesin pengkondisian udara *Air Conditioning* (AC) yang dipusatkan dengan menggunakan unit penghantar udara *Air Handling Unit*. Penggunaan sistem tata udara ini sejalan dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan manusia untuk mendapatkan kenyamanan di dalam ruang bangunan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengkondisian udara dalam bangunan terdapat dua indikator penting yaitu temperatur dan kelembaban udara. Sedangkan faktor lain yang mempengaruhi pengkondisian udara dalam bangunan adalah sebagai berikut:

### 2.4.1 Fungsi ruang dalam bangunan

Fungsi ruang dalam bangunan berdasarkan SNI 03-6572-2001, meliputi:

- a. Kegiatan utama yang berlangsung dalam ruang (aktivitas).
- b. Waktu kegiatan puncak.
- c. Pola pakaian penghuni.



Kegiatan utama yang berlangsung di dalam ruang memberikan pengaruh yang cukup besar dalam perancangan sistem pengkondisian udara. Semakin tinggi aktifitas di dalam ruangan, maka beban pendinginan semakin besar. Misalnya ruangan yang didalamnya terdapat aktifitas menulis, membaca atau menggambar akan berbeda dengan ruangan yang digunakan untuk berlatih menari/berdansa.

Beban pendinginan juga dipengaruhi oleh waktu kegiatan puncak gedung. Beban paling besar terjadi pada saat pagi hingga siang hari, dimana fungsi ruang-ruang yang ada di dalam gedung mencapai kondisi yang maksimal, pada saat proses belajar mengajar terjadi. Pola pakaian penghuni pada saat melakukan aktifitas di dalam gedung dapat membantu mengurangi beban pendinginan gedung. Karena bangunan terdapat di kawasan yang beriklim tropis, maka dapat digunakan pakaian yang nyaman, yang dapat mudah menyerap keringat. Juga bahan pakaian yang digunakan adalah bahan tidak tebal. Misalnya pakaian yang berbahan dasar katun.

#### **2.4.2 Ukuran ruangan**

Ukuran ruangan menentukan berapa banyak BTU (*british thermal unit*) atau kecepatan pendinginan. BTU adalah kecepatan pendinginan untuk ruangan satu meter persegi dengan tinggi standart (umumnya tiga meter). Semakin besar satu ruangan tentunya akan semakin besar pula BTU yang dibutuhkan.

#### **2.4.3 Beban pendinginan**

Beban pendinginan berasal dari dalam ruangan (*internal heat again*). Misalnya dari jumlah penghuni dan penggunaan penerangan seperti lampu. Beberapa jenis lampu mengeluarkan panas yang tinggi, berarti juga harus memilih AC dengan daya yang lebih tinggi. Selain dari dalam, beban pendinginan juga berasal dari luar. Seperti cahaya matahari yang mengeluarkan energi panas melalui dinding, atap atau jendela.

#### **2.4.4 Penggunaan jendela kaca**

Saat ini banyak bangunan yang mempunyai jendela kaca atau menggunakan blok kaca (*glass block*). Untuk ruangan yang menggunakan kaca sebanyak 70% atau lebih, sebaiknya gunakan kaca film yang dapat menahan sinar ultraviolet untuk mengurangi beban pendinginan.

#### 2.4.5 Kondisi fisik bangunan

Kondisi fisik bangunan berdasarkan SNI 03-6572-2001, meliputi data bangunan yang terdiri dari :

- a. Data fisik bangunan.
- b. Karakteristik termal selubung bangunan.
- c. Data pemakaian bangunan, seperti misalnya profil beban pendinginan.

Identifikasi bahan bangunan yang akan digunakan sangat menentukan nilai transmitansi termal yang menjadi salah satu variabel dalam proses perhitungan beban pendinginan. Karena setiap bahan yang digunakan pada fisik bangunan, memiliki nilai transmitansi termal yang berbeda-beda.

Bangunan yang direncanakan dapat memenuhi persyaratan hemat energi, apabila pada awal perencanaan diperhitungkan besarnya nilai perpindahan termal menyeluruh (*Overall Thermal Transfer Value = OTTV*) dan dibandingkan dengan batasan yang berlaku. Apabila nilai yang diperoleh melebihi batasan yang ditentukan untuk gedung hemat energi, maka perlu dilakukan perubahan perencanaan arsitektur untuk selubung bangunan agar diperoleh nilai yang memenuhi ketentuan untuk gedung hemat energi.

#### 2.5 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal didefinisikan suatu kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan dengan lingkungan termal dan dinilai oleh evaluasi subjektif *American Society of Heating Refrigerating Air Conditioning Engineer (ASHRAE)*. Definisi yang lain menyebutkan sebagai lingkungan indoor dan faktor pribadi yang akan menghasilkan kondisi lingkungan termal yang dapat diterima 80% atau lebih dari penghuni dalam sebuah ruang, namun tidak pernah tepat didefinisikan oleh standart, secara umum disepakati dalam komunitas riset kenyamanan termal yang diterima adalah identik dengan “Kepuasan”, dan kepuasan dikaitkan dengan sensasi panas, sedikit hangat, netral dan sedikit dingin.

##### 2.5.1 Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal

Georg Lippsmeier menjelaskan bahwa faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan kemampuan mental serta fisik penghuni bangunan antara lain :

- a. Radiasi matahari
- b. Pantulan dan penyerapan sinar matahari



- c. Temperatur dan perubahan temperatur
- d. Kelembaban udara
- e. Gerakan udara

Radiasi matahari adalah penyebab semua ciri umum iklim dan radiasi matahari yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan manusia. Jarak terpendek adalah radiasi vertikal. Pengaruh radiasi pada suatu tempat tertentu dapat ditentukan terutama oleh:

- a. Durasi radiasi harian penyinaran matahari tergantung pada musim, garis lintang geografis tempat pengamatan dan pergerakan awan.
- b. Intensitas matahari ditentukan oleh energi radiasi absolut, hilangnya energi pada atmosfer, sudut jatuh pada bidang yang disinari, penyebaran radiasi.
- c. Sudut jatuh

Kenyamanan termal juga dapat diperoleh dengan cara mengendalikan atau mengatasi hal-hal berikut :

- a. Sumber panas (pembakaran karbohidrat dalam makanan, suhu udara, radiasi matahari)
- b. Kelembapan
- c. Angin
- d. Radiasi panas sumber

Untuk meningkatkan kenyamanan termal salah satunya ialah dengan teknologi *passive cooling* melalui :

- a. Penambahan shading untuk mengatasi sinar langsung
- b. Insulasi panas untuk radiasi yang menembus
- c. Permukaan sebagai difuser untuk radiasi tidak langsung
- d. Vegetasi, atap dengan ventilasi untuk konveksi

### 2.5.2 Standart kenyamanan termal di daerah tropis

Berdasarkan Georg Lippsmeier dalam buku *Bangunan Tropis*, menyatakan bahwa standart nyaman termal yang berpatokan dengan kecepatan angin ialah :

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

Berdasarkan kondisi suhu, menyatakan daerah kenyamanan termal pada bangunan yang dikondisikan untuk orang Indonesia yaitu :

- a. Sejuk nyaman, antara suhu efektif  $20,8^{\circ}\text{C}$  -  $22,8^{\circ}\text{C}$
- b. Nyaman optimal, antara suhu efektif  $22,8^{\circ}\text{C}$  -  $25,8^{\circ}\text{C}$
- c. Hangat nyama, antara suhu efektif  $25,8^{\circ}\text{C}$  -  $27,1^{\circ}\text{C}$

Sedangkan berdasarkan SNI 03-6572-2001 (lampiran hal 90) Ciptakarya Pekerjaan Umum, kriteria kenyamanan temperatur udara kering sangat besar pengaruhnya terhadap besar kecilnya kalor yang dilepas melalui penguapan (evaporasi) dan melalui konveksi. Daerah kenyamanan termal untuk daerah tropis dapat dibagi menjadi :

- a. sejuk nyaman, antara temperatur efektif  $20,5^{\circ}\text{C}$  ~  $22,8^{\circ}\text{C}$ .
- b. nyaman optimal, antara temperatur efektif  $22,8^{\circ}\text{C}$  ~  $25,8^{\circ}\text{C}$ .
- c. hangat nyaman, antara temperatur efektif  $25,8^{\circ}\text{C}$  ~  $27,1^{\circ}\text{C}$ .

### 2.5.3 Kelembapan udara relatif

Udara relatif dalam ruangan adalah perbandingan antara jumlah uap air yang dikandung oleh udara tersebut dibandingkan dengan jumlah kandungan uap air pada keadaan jenuh pada temperatur udara ruangan tersebut.

Untuk daerah tropis, kelembapan udara relatif yang dianjurkan antara  $40\%$  ~  $50\%$ , tetapi untuk ruangan yang jumlah orangnya padat seperti ruang pertemuan, kelembapan udara relatif masih diperbolehkan berkisar antara  $55\%$  ~  $60\%$ .

## 2.6 Simulasi Penghawaan Alami dengan Teknik Digital

Dalam merancang sebuah bangunan yang memanfaatkan sistem penghawaan alami, dapat menggunakan simulasi dengan teknik digital diantaranya menggunakan software *Ecotect* dan *Vasari*. *Ecotect* adalah sebuah software yang dapat dimanfaatkan untuk membantu seorang perancang dalam mendesain simulasi bangunan yang meliputi pencahayaan alami, penghawaan alami, pencahayaan buatan, penghawaan buatan serta akustik ruangan. *Vasari* adalah software yang cukup efektif dalam menganalisa sebuah obyek bangunan dan dapat digunakan untuk melakukan simulasi pergerakan arah angin yang tidak terdapat dalam *Ecotect*. Walaupun software ini bukan merupakan software yang terbaik untuk menganalisa simulasi angin akan tetapi hasil yang diperoleh dari



software ini sudah cukup memenuhi bagi seorang arsitek untuk melakukan simulasi (Chris Williams, 2004). Dalam hal ini penulis memanfaatkan software *Ecotect* dan *Vasari* untuk membantu pelaksanaan simulasi penghawaan alami. Dengan menggunakan kedua software tersebut dapat memberikan gambaran arah pergerakan angin dan kondisi termal di dalam dan di luar bangunan. Zona yang bertekanan positif maupun negatif dapat terlihat dengan menggunakan software tersebut. Adapun beberapa kekurangan dari penggunaan kedua software tersebut antara lain :

- a. Simulasi diperoleh dari hasil input data kecepatan rata-rata angin selama 1 tahun sehingga tidak dapat dilihat pergerakan angin dari tiap-tiap menitnya pada saat ini. Namun hasil simulasi dapat memberikan gambaran arah pergerakan angin di luar maupun di dalam bangunan pada saat ada angin yang bergerak di sekitar bangunan.
- b. Arah pergerakan angin pada bagian dalam bangunan kurang mendetail, hanya terbaca secara tegak lurus pada bidang bukaan (jendela). Sehingga tidak tergambar secara mendetail arah turbulensi/perputaran udara segar dalam bangunan.

([www.cadlearning.com/courses/autodesk-ecotect-analysis-training-tutorials/](http://www.cadlearning.com/courses/autodesk-ecotect-analysis-training-tutorials/))

## **2.7 Pengukuran Kecepatan Angin dan Temperatur Udara**

Untuk mengetahui kondisi kenyamanan termal pada keadaan eksisting dalam ruang-ruang bangunan maka perlu dilakukan pengukuran yang meliputi kecepatan angin, temperatur udara dan kelembaban udara.

### **2.7.1 Pengukuran kecepatan angin**

Kecepatan angin pada tiap ruang dan lantai berbeda. Semakin tinggi lantai dari permukaan tanah, maka kecepatan angin yang bergerak juga akan semakin tinggi. Pengukuran kecepatan angin pada tiap ruang dan lantai diperoleh dari pengukuran langsung dengan menggunakan alat pengukur kecepatan angin yaitu *Anemometer*.

### **2.7.2 Pengukuran temperatur udara**

Temperatur udara pada tiap ruang dan lantai juga berbeda. Dalam pengukuran temperatur udara pada tiap ruang dan lantai dilakukan secara langsung dengan menggunakan alat pengukur temperatur udara yaitu *Thermometer*.

## 2.8 Menghitung Penggunaan Penghawaan Buatan (AC)

Perhitungan penggunaan AC diperoleh melalui perhitungan penggunaan daya listrik untuk mengoperasikan AC pada masing-masing ruang dalam satuan watt per jam. Dimana jumlah tersebut diperoleh dari akumulasi rata-rata penggunaan AC dalam satu tahun. Setiap ruang diasumsikan masing-masing mempunyai jam operasional setiap harinya antara 2 - 8 jam per hari. Hari kerja diasumsikan 6 hari kerja dalam satu minggu, sehingga dalam satu bulan diasumsikan 24 hari kerja, sedangkan tiap tahunnya diasumsikan 11 bulan. Hal ini dikarenakan ada libur semester dan lain-lain dalam satu tahun. Sehingga untuk setiap ruang jumlah jam untuk penggunaan AC dalam satu tahun dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\sum t = A \times B \times 11$$

Keterangan:

$\sum t$  = Jumlah jam penggunaan AC per tahun

**A** = Asumsi jumlah jam operasional AC masing-masing ruangan per hari

**B** = Asumsi jumlah hari per bulan

**11** = Asumsi jumlah bulan dalam satu tahun

Sedangkan untuk jumlah daya yang tertera dalam spesifikasi pada AC dapat di hitung dengan rumus :

$$\sum W = D \times E$$

Keterangan:

$\sum W$  = Jumlah daya yang tertera dalam unit AC di masing-masing ruangan

**D** = Jumlah unit AC yang ada dalam masing-masing ruangan

**E** = Spesifikasi daya yang tertera dalam unit AC

Ilustrasi perhitungan daya listrik dalam penggunaan AC dengan metode konsumsi daya otomatis berulang.

Contoh :

Diasumsi AC beroperasi selama 6 jam per hari, untuk mendinginkan ruangan hingga temperatur 25 °C, kondisi yang terjadi saat pertama kali dinyalakan mesin beroperasi selama 15 menit untuk mendinginkan ruangan. Selanjutnya setiap kali siklus mendinginkan ruangan mesin menyala selama 10 menit dan siaga selama 5 menit. Dalam 1 jam beroperasi terjadi :  $60/15 = 4$  kali siklus mendinginkan ruangan, empat



kali mesin menyala selama  $4 \times 10$  menit = 40 menit dan empat kali mesin siaga selama  $4 \times 5$  menit = 20 menit.

Jika rata-rata pengoperasian AC dalam ruangan adalah 6 jam per hari maka AC akan menyala selama  $6 \times 40$  menit = 240 menit. Dengan tambah waktu saat pertama kali mesin dinyalakan selama 5 menit (15-10), sehingga konsumsi daya sebenarnya oleh mesin AC selama 6 jam pengoperasiannya adalah :  $6 \times 40 + 5 = 240 + 5 = 245$  menit.

Sehingga rumus jumlah penggunaan daya listrik setiap ruangan selama 1 tahun :

$$\sum P = \sum W \times (40 \times A + 5) / 60 \times B \times C$$

Keterangan:

$\sum P$  = Jumlah penggunaan daya listrik dalam pengoperasian AC setiap ruang selama 1 tahun

$\sum W$  = Jumlah daya listrik pada spesifikasi AC yang ada dalam setiap ruang

40 = Waktu mesin AC menyala dalam mendinginkan ruang selama satu jam (dalam menit)

A = Asumsi jumlah jam operasional AC masing-masing ruangan per hari

5 = Waktu tambahan saat pertama kali mesin AC dinyalakan (dalam menit)

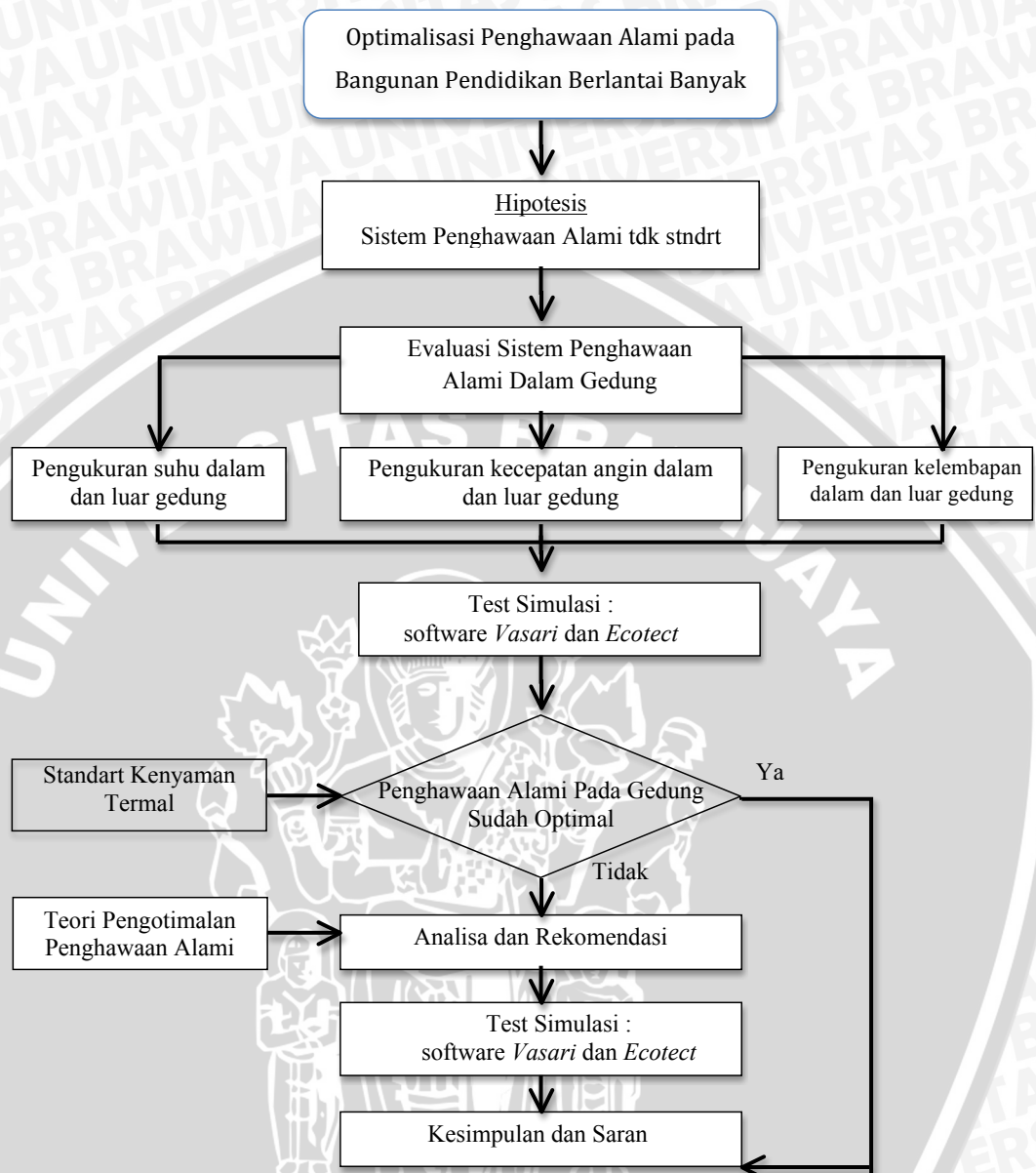
60 = Pembagi pengoperasian mesin AC selama satu jam (dalam satuan menit)

B = Asumsi jumlah hari dalam satu bulan (24 hari)

C = Asumsi jumlah bulan dalam satu tahun (11 bulan)

Guna mengetahui penghematan penggunaan AC dalam satu tahun, dilakukan perhitungan penggunaan AC dengan menggunakan penghawaan buatan eksisting dan perhitungan penggunaan AC dengan menggunakan penghawaan buatan yang dikombinasi dengan penghawaan alami yang direkomendasikan. Dalam hal penghawaan alami yang direkomendasikan ini diterapkan, maka sebagai contoh dapat diasumsikan untuk beberapa ruang yang semula waktu operasionalnya rata-rata 6 jam per hari bisa menjadi 4 jam per hari dan seterusnya. Sehingga terjadi selisih jam penggunaan AC dari kedua perhitungan tersebut yang merupakan penghematan dalam penggunaan AC atau energi listrik di gedung tersebut.

2.9 Alur Penelitian



Gambar 2.5 Alur Penelitian Kondisi Sistem Penghawaan Alami Gedung F FEB UB