

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Indoor Air Quality (IAQ)

Kualitas sirkulasi udara di dalam gedung harus memenuhi persyaratan kenyamanan termal dan kesehatan lingkungan untuk mencapai kondisi hidup sehat. Menurut *United States Department of Labor, Indoor Air Quality (IAQ)* adalah kualitas udara dalam ruang yang menciptakan lingkungan yang menguntungkan dan produktif bagi penghuninya, memberikan rasa nyaman, sehat, dan kesejahteraan. Peningkatan signifikan dalam produktivitas pekerja juga telah ditunjukkan ketika kualitas udara memadai. Hal ini mencakup suhu, kelembapan, ventilasi yang baik, serta pengendalian jamur, bakteri, dan paparan bahan kimia lainnya (*Occupational Safety and Health, 2011*). Pada standar *LEED* dan *GreenShip*, salah satu faktor yang menciptakan kenyamanan dan menjaga kesehatan dalam ruang adalah kualitas lingkungan dalam ruang. Beberapa aspek yang dinilai meliputi:

- Kenyamanan termal
- Kualitas udara
- Distribusi aliran udara
- Ventilasi
- Pencahayaan alami dan pemandangan
- Tingkat kebisingan

Penelitian ini mengambil tiga aspek dari kualitas udara dalam ruang, yaitu kenyamanan termal, kualitas udara, dan distribusi aliran udara serta ventilasi.

2.2. Persyaratan Kualitas Udara Dalam Ruang

Persyaratan kualitas udara dalam ruang rumah menurut KemenKes meliputi :

- Kualitas fisik, terdiri dari parameter: partikulat (Particulate Matter/PM_{2,5} dan PM₁₀), suhu udara, pencahayaan, kelembapan, serta pengaturan dan pertukaran udara (laju ventilasi);
- Kualitas kimia, terdiri dari parameter: *Sulfur dioksida (SO₂)*, *Nitrogen dioksida (NO₂)*, Karbon monoksida (CO), Karbon dioksida (CO₂), Timbal (Plumbum=Pb), asap rokok (*Environmental Tobacco Smoke/ETS*), *Asbes*, *Formaldehid (HCHO)*, *Volatile Organic Compound (VOC)*; dan
- Kualitas biologi terdiri dari parameter: bakteri dan jamur. (Indonesia, 2011) Pada

persyaratan kualitas udara dalam ruang menurut kemenkes penelitian ini mengambil poin kualitas fisik yang di sesuaikan dengan teori *Indoor air quality*, tentang kenyamanan termal, kualitas udara, distribusi udara, dan ventilasi.

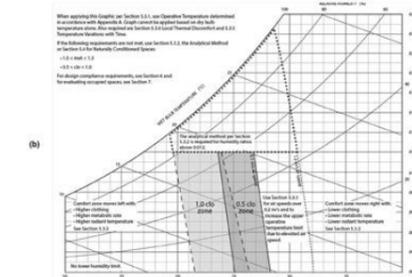
Tabel. 2 Persyaratan Kemenkes 2023

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar yang dipersyaratkan
1.	Suhu	°C	18-30
2.	Pencahayaan	Lux	Minimal 60
3.	Kelembapan	% Rh	40-60
4.	Laju Ventilasi	m/dtk	0.15 – 0.25
5.	PM _{2.5}	Ug/m ³	35 dalam 24 jam
6.	PM ₁₀	Ug/m ³	≤ 70 dalam 24 jam

Sumber: KEMENKES

2.3. Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal menggambarkan fenomena yang mungkin dirasakan oleh subjek secara berbeda meskipun mereka terpapar pada lingkungan termal yang sama. Kenyamanan termal mengacu pada perasaan nyaman seseorang terkait suhu dan kelembapan lingkungan di sekitarnya. Kenyamanan termal penghuni dipengaruhi oleh ventilasi pada suatu ruang. Menurut *ASHRAE (2023)*, kenyamanan termal dalam desain pasif adalah merancang bangunan yang mencapai kenyamanan termal tanpa harus banyak menggunakan energi aktif. Kondisi kenyamanan termal juga dipengaruhi oleh faktor iklim dan faktor individu. Faktor fisik antara lain suhu udara, kelembapan udara, kecepatan angin serta pergerakan udara di dalam ruang (laju ventilasi). Sedangkan faktor individu yang menentukan keadaan suhu nyaman adalah jenis aktivitas serta jenis pakaian yang digunakan.



Gambar. 7 Thermal Comfort Zone Psychromet

Sember: Ashrae55_Psychrometric

2.3.1. Temperature/Suhu

Panas dan dingin dapat dirasakan pada keadaan sekitar. Menurut Fanani & Haripradianto (2018) yang mengutip data dari Sarsinta (2008), suhu atau temperatur adalah ukuran dingin atau panasnya suatu keadaan atau benda. Satuan ukur temperatur di Indonesia adalah derajat Celsius, namun secara global mayoritas menggunakan derajat Fahrenheit.

Kementerian Kesehatan (KEMENKES) memberikan persyaratan untuk kenyamanan dan kesehatan dalam ruang terkait kualitas udara. Temperatur sangat erat kaitannya dengan kenyamanan termal suatu ruang. Temperatur yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia, lingkungan, dan hewan. Oleh karena itu, kenyamanan termal merupakan bagian penting untuk menciptakan penghawaan yang nyaman bagi aktivitas dalam ruang (Munawaroh & Elbes, 2019). Perbedaan temperatur yang terlalu besar antara suhu tubuh manusia dan suhu lingkungan di sekitarnya akan menyebabkan ketidaknyamanan, baik berupa kedinginan maupun kepanasan (Latifah et al., 2013).

Ukuran kenyamanan termal di Indonesia menurut SK SNI T-14-1993-03 (tentang Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi pada Bangunan Gedung) dan SNI 03-6572-2001 (tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung) dibagi atas tiga bagian:

- Sejuk Nyaman: 20,5°C - 22,8°C TE
- Nyaman Optimal: 22,8°C - 25,8°C TE
- Hangat Nyaman: 25,8°C - 27,1°C TE

Suhu udara diukur dengan termometer merkuri biasa yang terletak dalam bayangan dan 120 cm di atas permukaan tanah. Suhu dalam ruang yang terlalu rendah dapat menyebabkan gangguan kesehatan hingga hipotermia, sedangkan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan dehidrasi hingga heat stroke (Indonesia, 2011).

Tabel 3 Standar Suhu

No	Standar Baku	Satuan	Dipersyaratkan
1.	ASHRAE 55 (2017)	°C	19.6 - 27.9
2.	ASHRAE Standard 170 (2017)	°C	21 - 24
3.	KEMENKES (2023)	°C	18 - 30

Sumber: ASHRAE, dan KEMENKES

2.3.2. Kelembapan

Kelembaban relatif (RH), dinyatakan dalam persen (%), adalah perbandingan antara tekanan parsial aktual yang diterima uap air dalam suatu volume udara tertentu dengan tekanan parsial udara yang diterima uap air pada kondisi saturasi pada suhu udara saat itu (Widodo & Hasan, 2008). Beberapa faktor yang bisa mempengaruhi kelembaban udara antara lain, suhu, pergerakan angin, tekanan udara, ketinggian tempat, radiasi matahari ketersediaan air, dll. Alat untuk mengukur kelembaban adalah *hygrometer*. Kelembaban udara yang tinggi dapat menimbulkan ketidaknyamanan termal. Indonesia sendiri merupakan negara beriklim tropis dengan tingkat kelembaban yang lumayan tinggi. (Wijayanto, 2020).

Tabel 4 Standar Kelembapan

No	Standar Baku	Satuan	Dipersyaratkan
1	ASHRAE 55 (2017)	% Rh	40 - 65
2	ASHRAE Standard 170 (2017)	% Rh	Max 60
3	KEMENKES (2023)	% Rh	40 - 60

Sumber: ASHRAE DAN KEMENKES

2.3.3. Aliran udara

Udara merupakan salah satu elemen alam yang memberikan kenyamanan dan kesehatan bagi makhluk hidup. Aliran udara juga yang mengalir memiliki peran penting bagi kenyamanan termal. (Nizam, Hendrawati, & Nita, 2022) Angin yang bertiup di permukaan bumi disebabkan oleh perbedaan penyerapan radiasi matahari yang menyebabkan perbedaan suhu. Perbedaan suhu ini menyebabkan perbedaan tekanan dan akhirnya pergerakan udara. Parameter utama untuk menilai angin adalah kecepatan dan arahnya. Udara yang bergerak akan membantu proses pelepasan kalor dari dalam tubuh melalui evaporasi dan konveksi (Wijayanto, 2020).

Menurut (Putra, Sugini, & Yus, 2022) Angin sangat diperlukan dalam pendinginan pasif yaitu suatu proses pendinginan secara alami di dalam ruangan dengan mengalirkan sejumlah aliran udara. Olgyay (1963) menyebutkan bahwa aliran udara di dalam ruang akan menyebabkan proses pendinginan pada tubuh manusia. Pendinginan ini tidak menurunkan suhu udara tetapi menambahkan proses evaporasi dari tubuh manusia.

Kondisi kenyamanan termal yang nyaman berdasarkan KEMENKES 2023 dan

ASHRAE 55-2017 yang menyatakan bahwa kecepatan udara di dalam ruangan berbeda namun pada ASHRAE standard 55 2007 menyatakan sama sekitar 0,15 m/detik - 0,25 m/detik.

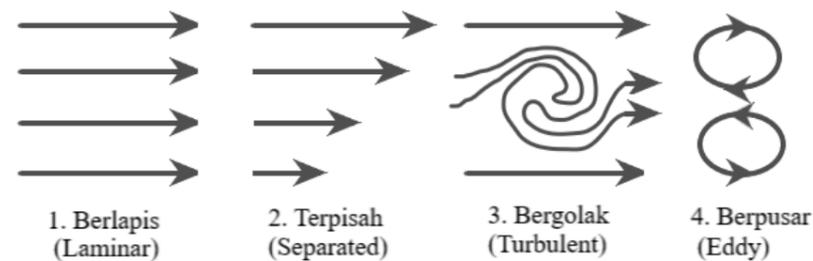
Tabel 5 Standar Kecepatan Angin

No	Standar Baku	Satuan	Dipersyaratkan
1.	ASHRAE 55 (2017)	m/s	0.2 – 0.8
2.	KEMENKES (2023)	m/s	0.15 – 0.25

Sumber: ASHRAE DAN KEMENKES

2.3.3.1. pola aliran udara

Pergerakan angin memiliki suatu pola. Boutet (1987) membagi pola aliran udara atas 3 kategori, yakni pola aliran udara laminar (berlapis) yang cenderung sejajar dan mudah diprediksi, pola aliran udara turbulen (bergolak) yang acak dan susah diprediksi, dan pola aliran udara separated (terpisah) yang kecepatan anginnya berkurang walaupun tetap bergerak sejajar. Selain ketiga pola aliran udara ini, Lechner (2001) menambah pola aliran udara berpusar. Selain ketiga pola aliran udara ini, Lechner (2001) menambah pola aliran udara berpusar. Maka terdapat Ada 4 (empat) tipe aliran udara: Berlapis (Laminar), Terpisah (Separated), Bergolak (Turbulent), dan Berpusar (Eddy)



Gambar. 8 Pola Aliran Angin

Aliran udara yang masuk pada bangunan akan dipengaruhi oleh bentuk bangunan, bentuk atap, bukaan dll.

2.3.4. Temperatur radiasi

Temperatur radiasi adalah radiasi rata-rata dari permukaan-permukaan bidang yang mengelilingi seseorang. Temperatur radiasi sangat penting artinya karena dapat menimbulkan rasa panas bagi seseorang hingga 66%. Kenyamanan termal sulit tercapai bila suhu udara dan MRT berbeda hingga 5°C atau lebih. Menurut (Iqman, 2020) dalam

(Susanti & Aulia, 2013) Temperatur radiasi adalah panas yang beradiasi dari objek yang mengeluarkan panas. Temperatur radiasi lebih memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan alternative udara dalam, bagaimana kita melepas atau menerima panas dari lingkungan atau ke lingkungan. Penggunaan jendela rumah dapat digunakan sebagai alternatif untuk mendapatkan udara segar. Angin sepoi-sepoi tentunya akan meningkatkan kenyamanan termal kita (Wijayanto, 2020).

2.3.5. Insulasi pakaian

Pakaian yang terlalu tebal dapat membuat badan merasa tidak nyaman. Total nilai insulasi pakaian berdasarkan ASHRAE Standart 55-2017 yang termasuk dalam batas nyaman tidak lebih dari 0,5 clo.

Tabel 6 Standar Insulasi Pakaian

Clothing Ensemble	clo value
Trousers and short-sleeve shirt	0.57
Trousers and long-sleeve shirt	0.61
Trousers, long-sleeve shirt, and suit jacket	0.96
Trousers, long-sleeve shirt, suit jacket, vest, and T-shirt	1.14
Trousers, long-sleeve shirt, long-sleeve sweater, and T-shirt	1.01
Trousers, long-sleeve shirt, long-sleeve sweater, T-shirt, suit jacket, and long underwear bottoms	1.30
Walking shorts and short-sleeve shirt	0.36
Long-sleeve coveralls and T-shirt	0.72
Overalls, long-sleeve shirt, and T-shirt	0.89
Insulated coveralls, long-sleeve thermal underwear tops and bottoms	1.37
Sweat pants and long-sleeve sweatshirt	0.74
Long-sleeve pajama tops, long pajama trousers, short 3/4 length robe (slippers, no socks)	0.96
Knee-length skirt and short-sleeve shirt, with sandals	0.54
Knee-length skirt, long-sleeve shirt, and full slip	0.67
Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, and long-sleeve sweater	1.10
Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, and suit jacket	1.04
Ankle-length skirt, long-sleeve shirt, and suit jacket	1.10

Sumber: ASHRAE Standart 55-2017, dan CFD 2021

Selain faktor lingkungan, penggunaan pakaian akan mempengaruhi kenyamanan termal. Gunakan pakaian yang tidak terlalu tebal dan dapat menyerap keringat agar dapat memudahkan pertukaran panas dari tubuh ke lingkungan.

2.3.6. *Metabolisme* tubuh

Menurut *ASHRAE 55 2027* laju transformasi energi kimia menjadi panas dan kerja mekanis melalui aktivitas *metabolisme* dalam suatu organisme biasanya dinyatakan dalam satuan luas permukaan tubuh total. Dalam standar ini, laju *metabolisme* dinyatakan dalam satuan *met*. Satuan ini diperhitungkan sebagai aktivitas pribadi penghuni. *Metabolisme* tubuh adalah tingkat transformasi energi kimia menjadi panas dan mekanik kerja oleh aktivitas metabolik suatu organisme (*ASHRAE*, 2004). Orang dewasa normal memiliki luas permukaan tubuh sebesar 1.7 m². Tabel di bawah menunjukkan laju *metabolisme* tubuh berdasarkan aktivitas.

Tabel 7 Standar *Metabolisme* Tubuh

No	Standar Baku	Satuan	Dipersyaratkan
1.	<i>ASHRAE 55 (2017)</i>	<i>Met</i>	1.0 – 1.3

Sumber: *ASHRAE (2017) and CFD 2021*

Aktifitas yang mempengaruhi *metabolisme* tubuh

Tabel 8 Laju *Metabolisme*

Aktivitas	Met	Aktivitas	Met
Istirahat		Pekerjaan Lain	
Tidur	0,7	Reparasi jam tangan, duduk	1,1
Berbaring	0,8	Mengangkat atau mengepak	1,2-2,4
Duduk, membaca	0,9	Bengkel (mengganti ban, dll)	2,2-3,0
Pekerjaan Kantor		Mengendarai Kendaraan	
Duduk, menulis	1,0	Mobil	1,5
Duduk, mengetik atau berbicara	1,2-1,4	Sepeda Motor	2,0
Membuat file duduk	1,2	Kendaraan berat	3,2
Berdiri, berbicara	1,2	Pesawat terbang	1,4
Membuat draft	1,1-1,3	Pendaratan	1,8
Pekerjaan kantor lain	1,1,-1,3	Pesawat Tempur	2,4
Membuat file berdiri	1,4	Aktivitas Senggang	
Berjalan (Permukaan Datar)		Memancing	1,2-2,0
2 mph (0,89 m/s)	2,0	Golf dan berjalan	
3 mph (1,34 m/s)	2,6	Golf dan menggunakan golf cart	1,4-1,8
4 mph (1,79 m/s)	3,8	Berdansa	2,4-4,4
Pekerjaan Domestik		Kebugaran	3,0-4,0
Memasak	1,6-2,0	Bola dan Raket	5,0-7,2

Membersihkan rumah	2,0-3,4	Basket	5,0-7,6
Mencuci dan menyetrika	2,0-3,6	Gulat atau Tinju	7,0-8,7
Pekerjaan Kayu			
Menggergaji dengan mesin	1,8-2,2		
Menggergaji dengan tangan	4,0-4,8		
Memahat kayu	5,6-6,4		

Sumber: *ASHRAE (2017) and CFD 2021*

2.3.7. *Predicted Mean Vote (PMV) & Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD)*

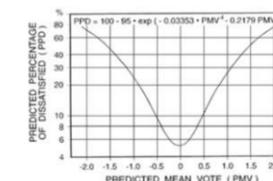
Nilai *Predicted Mean Vote* ini didapat dari keseimbangan panas tubuh yang memberi tanda perasaan termal dari keseluruhan tubuh pada saat dipengaruhi oleh aktifitas fisik dan pakaian terhadap lingkungan di sekitar. *Indeks PMV* ini dari -3 (sangat dingin) sampai dengan +3 (sangat panas).

Tabel 9 Skala *PMV*

No.	SKALA <i>PMV</i>	KONDISI TERMAL LINGKUNGAN
1.	<i>Hot</i>	(3)
2.	<i>Warm</i>	(2)
3.	<i>Slightly Warm</i>	(1)
4.	<i>Neutral</i>	(0)
5.	<i>Slightly Cool</i>	(-1)
6.	<i>Cool</i>	(-2)
7.	<i>Cold</i>	(-3)

Sumber: *ASHRAE (2017) and CFD 2021*

Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) digunakan untuk memprediksi berapa banyak orang yang merasa tidak nyaman dari suatu kondisi termal di dalam ruangan. Bila *PPD* di bawah 10% mendekati 0% yang menyatakan bahwa para responden atau pasien yang berada di ruangan merasakan kenyamanan di ruangan. (Surya, Surjanto, & Arm, 2022).



Gambar. 9 Skala *PPD*

Sumber: *ASHRAE (2017) and CFD 2021*

2.4. Pengaruh Aliran Angin

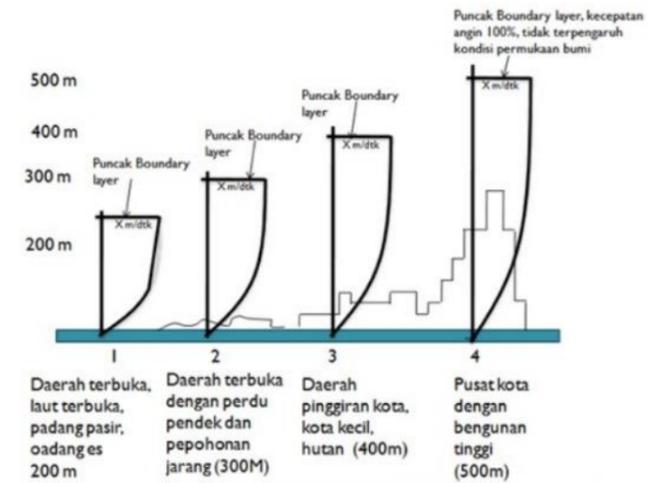
Menjaga sirkulasi udara bersih di dalam rumah (ruang yang dihuni) dan mempertahankan kebutuhan laju udara ventilasi sehingga kesehatan dan kenyamanan secara termal penghuni dapat terpelihara, serta menghemat energi. Berikut merupakan indikator kecepatan udara yang dapat dirasakan.

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

Gambar. 10 Pengaruh Kecepatan Angin Terhadap Kenyamanan

Sumber: (Sibero & Christopel, 2015)

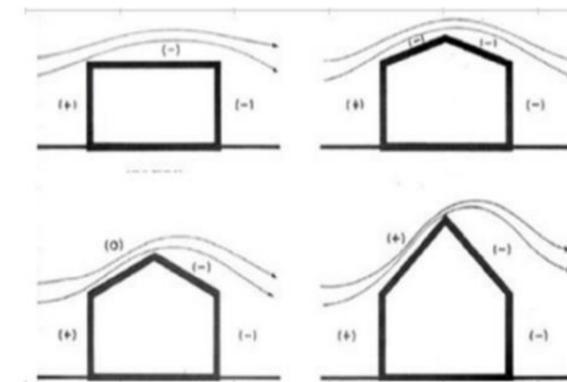
Kenyamanan kecepatan angin pada tabel diatas terdapat pada 0,6-1,7 yang merupakan angin sepoi-sepoi yang memiliki efek penyegaran. Distribusi udara yang bergerak dari alam tersebut dapat menimbulkan tekanan area negatif dan positif. Bangunan yang terbentur angin adalah yang mendapatkan tekanan positif. Sebaliknya, pada saat yang sama udara akan terhisap dari sisi yang terhindar dari angin, sehingga menciptakan tekanan negatif. Tekanan negatif pada area bangunan akan terjadi tergantung pada lebar dan tinggi bangunan (Kartika, 2014). Kecepatan angin terus bertambah seiring dengan pertambahan ketinggian sesuatu objek. Semakin banyak halangan pada keadaan sekeliling (pohon, gedung, rumah, dll), ketinggian yang diperlukan angin untuk mencapai kecepatan maksimum semakin besar (Dianty, 2011).



Gambar. 11 Kecepatan Maksimal Angin

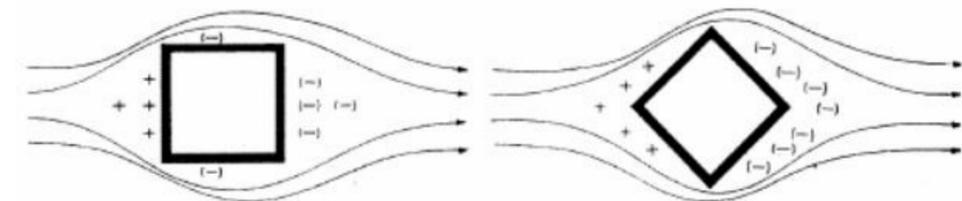
Sumber: (Dianty, 2011)

Tekanan yang terjadi di atas atap akan dipengaruhi bentuk/kelandaian atap.



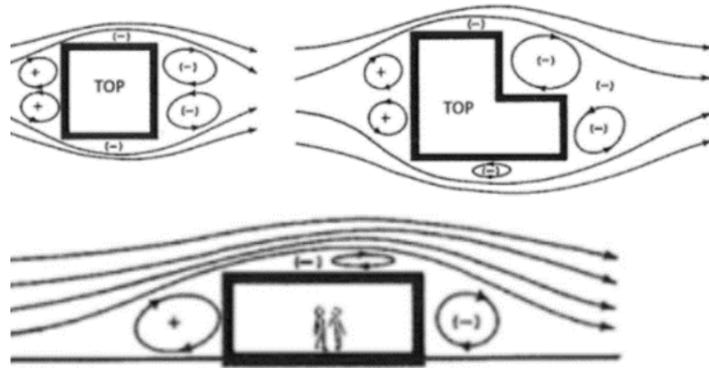
Gambar. 12 Tekanan Yang Terjadi Di Atas Atap Akan Dipengaruhi Bentuk/Kelandaian Atap.

Sumber: (Cushman, 2019)



Gambar. 13 Distribusi Udara Yang Menerpa Orientasi Bangunan Yang Berbeda Menciptakan Area Dengan Tekanan Positif Dan Negatif Yang Tidak Merata.

Sumber: (Cushman, 2019)



Gambar. 14 Turbulensi Dan Arus Berpusar (Eddy) Yang Terjadi Diarea Tekanan Tinggi Dan Rendah

Sumber: (Cushman, 2019)

2.4.1. Efek Bernoulli

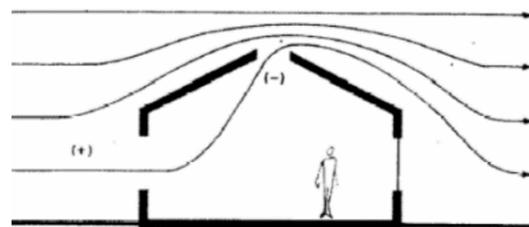
Prinsip dasar aliran udara ini biasa di sebut dangan efek Bernoulli, dimana pada saat kecepatan udara semakin tinggi di suatu ruang, tekanan statiknya menurun. Karena fenomena ini, terdapat suatu tekanan negative pada pembatasan tabung venturi.



Gambar. 15 Tabung Venturi Yang Mengambarkan Efek Bernoulli.

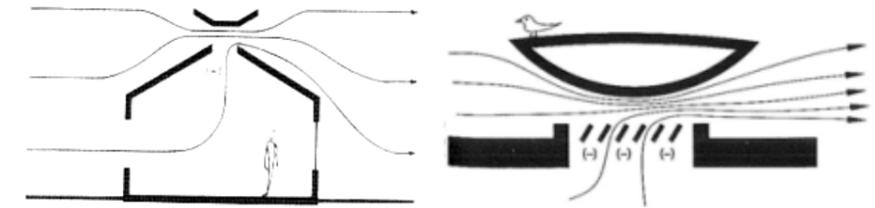
Sumber: (Cushman, 2019)

Dalam hal ini udara akan terisap keluar pada setiap bukaan ventilasi udara yang berdekatan dengan atap. Tekanan pada bagian atap akan lebih rendah dibandingkan dengan tekanan yang ada di jendela bagian dasar, maka kecepatan di daerah atap tinggi yang dapat mengisap udara negatif dari dalam ruang. Dampaknya Venturi efek Bernoulli akan membuang udara melalui lubang angin yang terdapat di bagian atap.



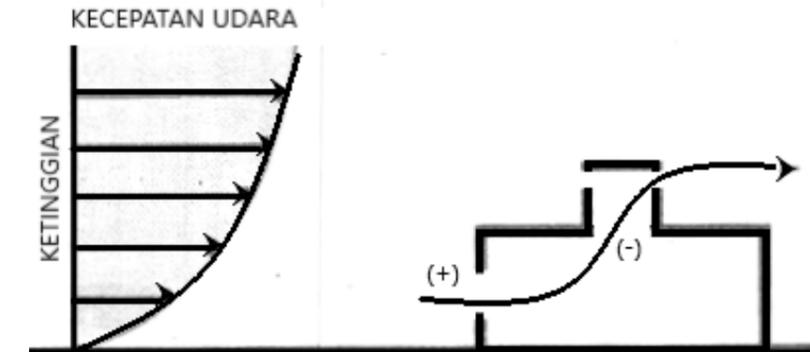
Gambar. 16 Efek Venturi Menyebabkan Udara Dibuang Melalui Lubang Di Atap, Dan Dekat Bubungan.

Sumber: (Cushman, 2019)



Gambar. 17 Efek Tabung Venturi Digunakan Sebagai Ventilator Atap

Sumber: (Cushman, 2019)

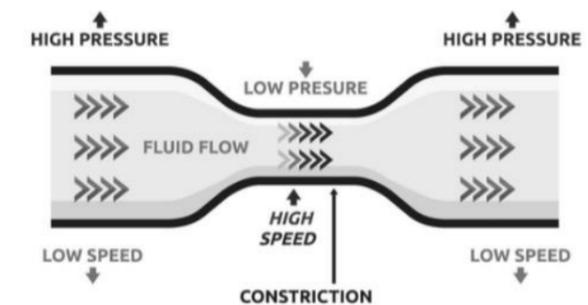


Gambar. 18 Gambar. 16 Kecepatan Angin Meningkat Pada Bagian Atap

Sumber: (Cushman, 2019)

2.4.2. Efek Venturi

Efek venturi adalah suatu penurunan dari tekanan fluida yang terjadi ketika fluida tersebut bergerak melalui suatu pipa yang menyempit. “efek Venturi” sebagai penurunan tekanan akibat peningkatan kecepatan, umumnya digunakan dalam, misalnya, kedokteran dan industri otomotif, sedangkan istilah yang sama digunakan dalam teknik angin/aerodinamika perkotaan dengan arti peningkatan kecepatan akibat penyempitan aliran (Blocken et al., 2007).



Gambar. 19 Efek Venturi

Sumber: Cadence CFD (2023)

2.5. Ventilasi Alami

Ventilasi alami adalah bukaan untuk pergantian udara segar secara alami (tidak melibatkan peralatan mekanis). Ventilasi yang baik memberikan pergantian udara dalam ruang secara terus menerus. Udara yang berganti secara teratur tersebut meningkatkan kenyamanan penghuni dan mencegah akumulasi udara kotor dalam ruang. Keuntungan lebih lanjut adalah penghematan energi dan biaya operasional bangunan (Nizam, Hendrawati, & Nita, 2022). Agar bias menerapkan ventilasi alami, perlu dipikirkan 5 syarat awal berikut

- Tersedianya udara luar yang sehat (bebas dari bau, debu dan polutan lain yang mengganggu).
- Suhu udara luar yang tidak terlalu tinggi (maksimal 28°C).
- Tidak banyak bangunan di sekitar yang akan menghalangi aliran udara horizontal
- Lingkungan tidak bising.

Jika beberapa syarat di atas tidak dapat terpenuhi, maka tidak perlu dipaksakan menggunakan ventilasi alami karena ruangan akan menjadi tidak nyaman (Kartika, 2014). Dari persyaratan KEMENKES dan SNI Rumah harus dilengkapi dengan ventilasi, minimal 10% luas lantai dengan sistem ventilasi silang.

Ventilasi bertujuan :

- Menghilangkan gas-gas yang tidak menyenangkan yang ditimbulkan oleh keringat dan sebagainya dan gas-gas pembakaran (CO₂) yang ditimbulkan oleh pernafasan dan proses-proses pembakaran.
- Menghilangkan uap air yang timbul sewaktu memasak, mandi dan sebagainya.
- Menghilangkan kalor yang berlebihan.
- Membantu mendapatkan kenyamanan termal (SNI, 2001).

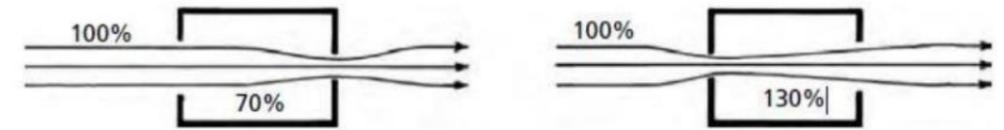
2.5.1. Orientasi lubang ventilasi

Lubang ventilasi sebaiknya ditempatkan/diorientasikan untuk menghadap arah dimana arah angin utama yang dominan menuju bangunan.

2.5.2. Lubang ventilasi inlet-outlet

Sebagai fungsi untuk memasukkan udara (*inlet*) seharusnya diposisikan pada ketinggian manusia beraktifitas. Salah satu syarat untuk bukaan yang baik yaitu harus terjadi *cross ventilation*. Lubang ventilasi yang berfungsi mengeluarkan udara (*outlet*) sebaiknya diletakkan sedikit lebih tinggi (di atas ketinggian aktivitas manusia) agar udara panas dapat dikeluarkan dengan mudah tanpa tercampur lagi dengan udara segar yang

masuk melalui *inlet*. Juga dengan tujuan agar udara dingin yang mengalir dari bawah dapat naik dan menekan udara panas yang terdapat di atasnya. Posisi lubang ventilasi semakin besar ukuran lubang ventilasi dan semakin banyak jumlahnya, maka semakin besar tingkat ventilasi yang terjadi dalam ruang atau bangunan tersebut. Rasio dimensi antara *inlet* dan *outlet* akan sangat berpengaruh dalam proses ventilasi (Iqman, 2020).

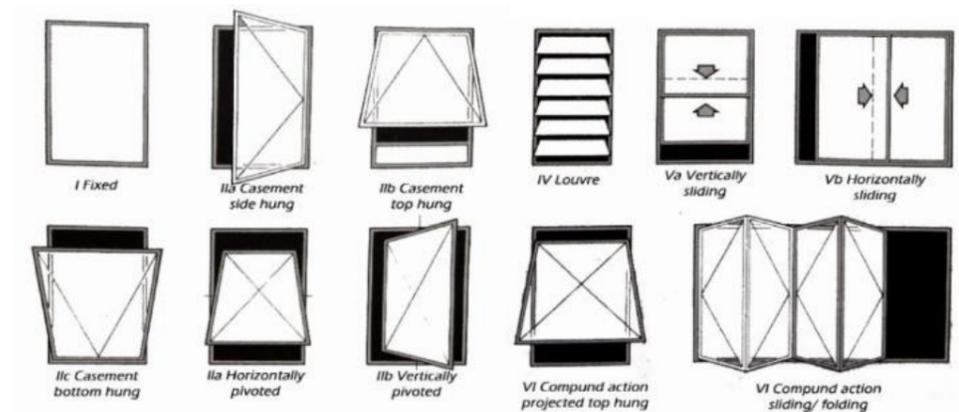


Gambar. 20 Inlet dan Outlet.

Sumber : Lechner, 2015

Pergerakan udara atau angin merupakan potensi untuk mencapai kenyamanan termal, maka dari itu dalam (Arifah, Adhitama, & Nugroho, 2017) dibutuhkan tipe *inlet* sebagai berikut:

- Tipe *inlet* harus dapat mengarahkan gerak udara dalam ruang semaksimal mungkin
- Tipe *inlet* harus optimal dalam mendukung laju udara (*air flow*) dan pergantian udara dalam ruang
- Tipe *inlet* harus fleksibel untuk dibuka tutup sesuai kebutuhan.



Gambar. 21 Jenis-Jenis Tipe Jendela

(Sumber: Beckett et al., 1974)

2.5.3. Tipe-tipe ventilasi alami

Udara didalam ruang yang mengalir melalui ventilasi alami/aktif terbagi menjadi 2. Arah gerak udara horizontal/ventilasi silang dan arah gerak udara vertikal/gerakan udara ke atas.

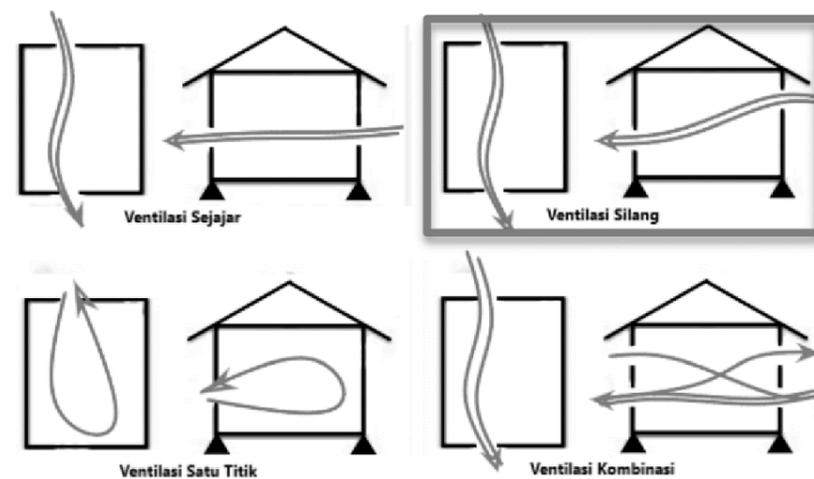
a. Gerakan Udara Horizontal

- Ventilasi 1 sisi

Ventilasi satu sisi dimana beberapa 1 atau lebih bukaan hanya terdapat pada satu fasad suatu ruangan atau bangunan tertutup, udara yang masuk akan keluar melalui ventilasi yang berada di fasad yang sama. Menyebabkan tubulensi di dalam ruangan, sehingga pergantian udara di dalam ruang menjadi lambat. Ventilasi satu sisi *single opening* akan efektif jika kedalaman ruangan dari opening adalah kurang dari/sama dengan 2 (dua) kali ketinggian ruang (Kartika, 2014).

- Ventilasi 2 sisi (ventilasi silang)

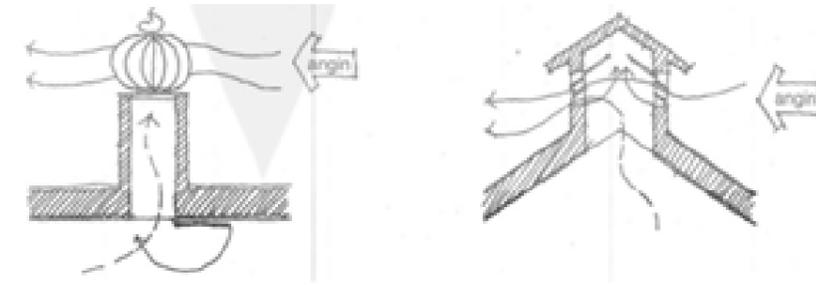
Penggunaan ventilasi silang dapat membantu meratakan pergerakan udara dalam ruang, sehingga pergantian udara dapat terjadi dengan optimal agar terjadi kenyamanan termal. Ventilasi tersebut dapat berupa jendela, pintu, maupun lubang angin. Ventilasi satu sisi *double opening* akan efektif jika kedalaman ruangan dari opening adalah kurang dari/sama dengan 2,5 kali ketinggian ruang.



Gambar. 22 Pola Ventilasi.

b. Gerakan Udara Vertikal (*Stack Effect*)

Daya ventilasi alami *stack effect* ini terjadi akibat perbedaan suhu udara. Udara dengan suhu lebih tinggi mempunyai berat yang lebih ringan, maka udara dengan suhu tinggi akan naik ke atas dan tempat yang ditinggalkan akan digantikan oleh udara baru dengan suhu lebih rendah. Sistem ventilasi vertikal yang baik membutuhkan lubang udara keluar di bagian atas ruang dan lubang udara masuk di bagian bawah (Kartika, 2014).



Gambar. 23 Ventilasi *Stack Effect*.

Sumber: (KARTIKA & SRI, 2014) dalam Frick 2008.

c. *Underfloor Air Distribution System (UFAD System)*

Dikembangkan lebih dari 50 tahun yang lalu sebagai alternatif yang ekonomis dan lebih efisien dibandingkan pengiriman udara *overhead* tradisional. *UFAD* system sekarang banyak digunakan di seluruh Eropa, Asia dan Amerika Utara. Namun sistem ini digunakan untuk ruangan berAC.

- Peningkatan kenyamanan termal
- Peningkatan efisiensi ventilasi dan kualitas udara dalam ruangan
- Mengurangi biaya siklus hidup pembangunan
- Mengurangi penggunaan energi
- Mengurangi ketinggian lantai ke lantai dalam konstruksi baru
- Peningkatan produktivitas
- Karena UFAD berkontribusi terhadap kenyamanan termal, efisiensi

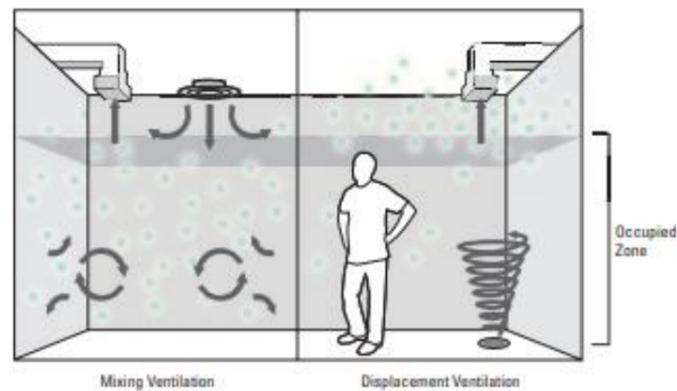


Gambar. 24 Ruang Dengan Distribusi Udara Bawah Lantai.

Sumber: Airficture. (2023)

Energi dan kualitas udara dalam ruangan, *UFAD* dapat membantu memperoleh poin untuk sertifikasi bangunan seperti *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)* dan *WELL*. *LEED* sangat fokus pada aspek energi dan lingkungan, *WELL* lebih

mengutamakan aspek kesehatan, sesuai dengan namanya. Namun, kualitas lingkungan dalam ruangan dibahas dalam kedua sistem sertifikasi tersebut.



Gambar. 25 *Mixing vs. Displacement Ventilation and Difference in Viral (blue dots) Distribution.*

Sumber: Jonathan Hale and John L Mckernan (2021)

2.6. Budaya Lokal Duduk di Lantai

Beraktivitas dengan budaya lokal duduk di lantai merupakan kebiasaan masyarakat atau budaya yang telah mengakar di Asia. Cerminan budaya duduk di lantai tersirat dari kosa kata bahasa Indonesia dan bahasa Jawa mengenai pose-pose duduk di lantai antara lain : simpuh, sila, ‘ngleseh’, ‘ndeprak’, ‘selonjor’, jongkok, ‘leyeh-leyeh’, terlentang, tengkurap, rangkak, sujud, sembah, sungkem, ‘ngesot’, ‘mlungker’ (Elda & Zulaikha, 2020).



Gambar. 26 Macam-Macam Pose Aktivitas Di Lantai Yang Terdefinisi dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI).

Sumber: (Elda & Zulaikha, 2020)

Menurut Halodoc, (Makarim, 2021) Jakarta – Duduk di kursi yang empuk saat makan memang terasa nyaman, namun hal itu belum tentu baik untuk kesehatan. Di zaman yang sudah modern, beberapa negara di Asia, seperti Jepang, masih mempraktikkan tradisi zaman dulu saat

makan, yaitu duduk di lantai. Orang Indonesia juga suka duduk di lantai dalam acara syukuran keluarga, bersantai ataupun mengerjakan sesuatu yang ada di lantai.



Gambar. 27 Aktivitas di Lantai

Sumber: 1Syarif Yunus 2019, 2Portra2022, 3PeopleImages 2022, 4khamelia2019

2.6.1. Manfaat duduk di lantai

Sebagian besar keluarga Jepang biasanya makan sambil duduk di lantai. Bahkan bila ke restoran bintang lima di Jepang pun, kemungkinan besar tidak akan menemukan kursi. Tidak hanya unik, duduk di lantai saat makan memengaruhi postur tubuh, sehingga bisa memberi banyak manfaat kesehatan. Berikut manfaat dari kebiasaan makan tersebut:

1. Membuat melakukan pose yoga
2. Membantu pencernaan
3. Membantu menurunkan berat badan
4. Membuat lebih fleksibel
5. Menjaga kesehatan sendi di lutut dan pinggul
6. Memperbaiki postur tubuh
7. Membuat jantung lebih kuat dan meningkatkan sirkulasi



Gambar. 28 Restoran Jepang.

Sumber: Sanbaban Izakaya (2020)

2.6.2. Budaya duduk di Indonesia

Indonesia juga sudah menerapkan budaya duduk di bawah sejak zaman leluhur dimana ada beberapa jenis kebiasaan duduk di lantai. (Sumaryono,1999. 23) (Nabila, 2019) yang dialih dalam (Wiyancoko, 2000:36) menurut Wiyancoko, aspek yang paling menonjol pada perilaku duduk pada kasus masyarakat Jawa adalah sikap interaksi yang terbangun dengan perilaku duduk.



Gambar. 29 Budaya Duduk Nusantara Yang Terdokumentasi Di Candi Borobudur.

Sumber: (Sumaryono,1999. 23)

2.7. Rusun

- Rumah susun adalah bangunan gedung bertingkat yang dibangun dalam suatu lingkungan yang terbagi dalam bagian-bagian yang distrukturkan secara fungsional, baik secara horizontal maupun vertikal. Setiap satuan dapat dimiliki dan digunakan secara terpisah, terutama untuk tempat hunian, dan dilengkapi dengan bagian bersama, benda bersama, dan tanah bersama..
- Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), rumah susun adalah gedung atau bangunan bertingkat yang terbagi atas beberapa tempat tinggal, masing-masing untuk satu keluarga.

2.8. Sistem Sirkulasi

Single Loaded Corridor: Koridor yang melayani unit-unit hunian dari satu sisi.

Central Corridor System: Disebut juga dengan double loaded, merupakan sistem koridor yang melayani unit-unit hunian dari dua sisi.

2.9. Studi Preseden

2.9.1. Bangunan dengan fungsi yang sama/mirip pada bukaan ventilasi penghawaan alami

Eastgate Centre, Harare, Zimbabwe, South Africa: Kompleks perkantoran dan

perbelanjaan ini memiliki bukaan ventilasi alami pada fasad bangunan untuk mendistribusikan angin ke dalam bangunan. *Eastgate Centre* merupakan tipe bangunan arsitektur ramah lingkungan yang sensitif dalam beradaptasi ekologis dan menggunakan prinsip biomimikri. Didesain oleh arsitek Mick Pearce yang bekerja sama dengan para insinyur di Arup Associate, bangunan ini tidak memiliki AC pendingin maupun pemanasan (Passive Climate Control). Namun, suhu tetap diatur sepanjang tahun dengan penggunaan energi yang lebih sedikit, menggunakan metode desain yang terinspirasi dari teknik batu bata lokal Zimbabwe dan gundukan rayap Afrika yang diyakini dapat mendinginkan suhu di dalam ruangan dengan sendirinya.



Gambar. 30 *Eastgate Centre*, Harare, Zimbabwe, South Africa.

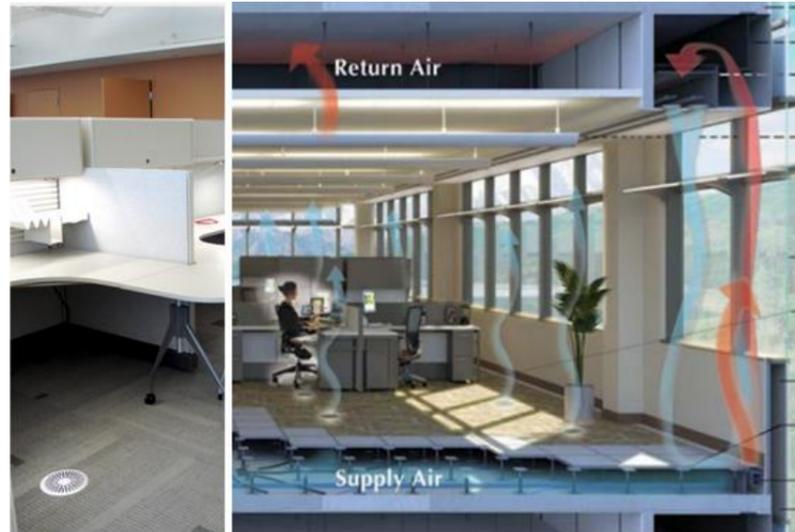
Sumber YouTube National Geographic(2018) and Ove Arup Partnership

Pusat Eastgate, sebagian besar terbuat dari semen, memiliki sistem ventilasi yang beroperasi yang mirip. Udara dari luar di ambil, kemudian dihangatkan atau didinginkan oleh massa bangunan bergantung mana yang lebih panas antara semen bangunan atau kondisi udara. Kemudian udara tersebut disalurkan ke lantai bangunan dan perkantoran sebelum keluar dari cerobong di bagian atas. Kompleks bangunan ini terdiri dari dua bangunan yang bersebelahan yang dipisahkan oleh ruang terbuka yang tertutup oleh kaca dan terbuka untuk angin lokal.

Udara secara kontinu diambil di ruang terbuka ini dengan menggunakan *fans* di lantai pertama. Kemudian didorong oleh bagian pasokan saluran vertikal yang berlokasi di pusat *spine* dari tiap- tiap bangunan. Udara segar menggantikan udara

pengap yang naik ke atas dan keluar lewat titik pembuangan di langit-langit tiap lantai. Akhirnya udara tersebut masuk ke bagian saluran pembuangan vertikal sebelum membanjiri dari bangunan menuju cerobong-cerobong.

2.9.2. Bangunan dengan fungsi yang sama/mirip sistem distribusi udara bawah lantai (lantai panggung).



Gambar. 31 UFAD Golden, CO.

Sumber: Ken A. Urbanek UFAD with Chilled Beams and Hot Water Baseboard

Studi preseden ini adalah ruang kantor komersial berlantai lima lebih, seluas 300.000 kaki persegi yang berlokasi di Golden, CO. Desain bangunan dimulai pada tahun 2005 dan konstruksi selesai pada tahun 2007. Penggunaan *UFAD system* pada kantor ini terletak pada area kerja seperti meja kerja dan di pojok ruangan.



Gambar. 32 Underfloor Air Distribution System.

Sumber: Titus

Kauffman Center For The Performing Arts

Pada bangunan *kauffman center for the performing arts* ini memakai sistem distribusi udara bawah lanyat yang langsung ditempatkan di bawah kursi penonton.

Tujuannya untuk memberikan kenyamanan penghawaan bagi setiap individu yang duduk.

2.9.3. Bangunan yang mempunyai problem sama
Eastside Human Services Building



Gambar. 33 Eastside Human Services Building.

Sumber: Archdaily and Ken A. Urbanek

Secara khusus, sistem lantai akses adalah serangkaian panel lantai yang dapat dilepas yang dipasang pada kisi-kisi penyangga logam yang dapat disesuaikan. Pemasangan dengan menggunakan kisi-kisi lantai berukuran 24 inci x 24 inci. Beberapa aturan umum untuk ketinggian rangka adalah sebagai berikut:

Akses Tinggi Lantai*: Pendinginan Kepadatan Tinggi (Pusat Data) dengan *UFAD*: 24 inci hingga 48 inci. Ruang Kantor Umum dengan *UFAD*: 10 inci hingga 20 inci. Ketinggian lantai yang ditunjukkan adalah aturan umum. Persyaratan khusus harus diverifikasi dengan pabrikan yang dipilih, dan mempertimbangkan peralatan terpasang serta persyaratan desain.

Umumnya *UFAD system* sendiri ditujukan untuk mengatasi beban pendinginan internal seperti lampu, komputer, beban peralatan lain-lain, dan manusia. Untuk sebagian besar beban pendinginan internal ini cenderung tetap menjadi beban yang

sangat statis dan oleh karena itu *UFAD system* biasanya tidak dirancang untuk merespon dengan cepat terhadap beban tersebut.

2.9.3.1. parameter yang di pelajari

- a. Dari gedung Eastgate di Zimbabwe, kita dapat mempelajari penggunaan sistem ventilasi alami yang memanfaatkan perbedaan suhu antara luar dan dalam bangunan. Udara luar yang lebih dingin di malam hari disirkulasikan ke dalam bangunan melalui ventilasi yang terbuka, sementara udara panas di dalam bangunan dikeluarkan melalui ventilasi di bagian atas bangunan. Selain itu, bangunan ini menggunakan desain arsitektur yang memungkinkan udara mengalir secara alami melalui ruang-ruang dalam bangunan, seperti atrium dan lorong-lorong yang dirancang untuk memfasilitasi aliran udara.
 - Ventilasi alami dan pendinginan pasif tanpa menggunakan pendingin udara mekanis, dengan bentuk bukaan yang unik untuk mengalirkan udara.
 - Penggunaan sistem ventilasi silang (*cross ventilation*) dan ventilasi efek cerobong (*stack effect ventilation*).
 - Penggunaan bahan-bahan lokal.
 - Keterampilan konstruksi lokal untuk mencapai pendinginan pasif, serta struktur lantai kantor sebagai bagian penting dari desain pendinginan pasif. Sistem ventilasi ini memungkinkan udara segar masuk ke dalam bangunan dan udara panas dikeluarkan, menciptakan sirkulasi udara alami yang membantu menjaga suhu di dalam bangunan tetap nyaman tanpa perlu menggunakan pendingin udara mekanis.
- b. Bangunan yang menggunakan lantai panggung.
 - Keterampilan konstruksi sistem *Underfloor Air Distribution (UFAD)*.
 - Permasalahan terkait pengaturan diffuser *UFAD*.
 - Penggunaan sistem *UFAD* untuk kondisi lingkungan dalam ruangan dan pendinginan.
 - Ketinggian lantai panggung ruang umum dengan *UFAD*: 10 inci hingga 20 inci. Ketinggian lantai yang ditunjukkan adalah aturan umum.

- Penggunaan energi kipas yang berlebihan sebagai akibat dari kompensasi kebocoran.
- Kebisingan sistem yang berlebihan akibat peningkatan aliran udara. Juga terdapat parameter system dan parameter pendingin
- Posisi *UFAD* dibawah kursi.

2.9.3.2. metode yang di pelajari

- Pengujian tekanan pada berbagai area *access floor* selama konstruksi untuk memastikan batas kebocoran maksimum
- Penggunaan sistem *UFAD* untuk mengatasi beban radiasi dari tepi bangunan yang memanjang dalam jarak yang signifikan
- Penambahan outlet *UFAD* internal untuk menangani beban radias Memberikan ruang sebagai lantai panggung dengan ketinggian aturan 10 sam 20 inci dan lebar lantainya 24x24 inci. Tapi penggunaan pada *system* ini menggunakan penghawaan mekanik yang dimana digunakan *system* memodulasi kipas pasokan udara dan/atau peredam pelepasan. Tetapi pada penelitian ini mencoba penghawaan alami.

2.10. Parameter yang Akan di Pakai

Parameter yang dipakai dari data teori dan persyaratan kualitas ruang diatas untuk batas penelitian antara lain: Hubungan kenyamanan dan kesehatan *Indoor Air Quality* dengan budaya duduk di lantai. Bersumber literatur *Indoor air quality ASHRAE Standard 62.1-2017* dan budaya lokal duduk di lantai (Sumaryono,1999. 23). Maka muncul Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan (*IAQ*) dan manfaat duduk dilantai. Adapun variabel yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruang yang diambil dari

Teori *Indoor Air Quality* antara lain:

- Kenyamanan termal
- Kualitas udara
- Distribusi aliran udara
- Ventilasi

Pada penelitian ini mengambil 3 aspek dari *Indoor air quality* antara lain Kenyamanan termal, kualitas udara, distribusi aliran udara dan ventilasi. Dalam hal ini ada anak variable teori *Indoor Air Quality* terdapat suhu/temperatur, aliran angin, kelembapan serta distribusi udara dan ventilasi, yang akan digunakan sebagai metode pengumpulan data. Dari teori tersebut akan di sesuaikan nanti dengan budaya lokal duduk dilantai yang memiliki macam-macam dan manfaat aktifitas dilantai. Maka yang perlu di perhatikan pada kenyamanan dan penghawaan pasif menggunakan *cross ventilation system*, menjaga aliran udara tetap berjalan dengan lancar. Sistem ini juga dapat di pengaruhi oleh bukaan, yang berfokus pada dimensi, bentuk, posisi, dan modifikasi.

Fokus tersebut memberi dimensi, bentuk yang lebar dan persegi panjang yang dipertimbangkan mampu memberikan kenyamanan distribusi udara, Posisi bukan *inlet* sejajar dengan aktifitas manusia di lantai, *outlet* diatas dekat plafon, sistem ventilasi ini memungkinkan udara segar untuk masuk ke dalam bangunan dan udara panas naik untuk dikeluarkan. Parameter yang dipakai akan menemukan alternatif desain yang mampu mendistribusikan aliran udara ke dalam ruang dengan memperhatikan budaya lokal duduk di lantai yang dapat meningkatkan kualitas hidup dalam rumah.

Tabel 10 Parameter Yang di Pakai

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar yang dipersyaratkan
1.	Suhu	°C	18-30
2.	Laju Ventilasi	m/dtk	0.15 – 0.25
3.	Kelembapan	% Rh	40-60
4.	Jenis Pakaian	Clo	0.5clo
5.	Metabolisme	met	1.0-1.3met

Sumber: ASHRAE, dan KEMENKES