

**STUDI ENERGI TERBARUKAN DENGAN MEMANFAATKAN
WIND CATCHER UNTUK PENDINGINAN PASIF
MELALUI VENTILASI ALAMI**

TUGAS AKHIR

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*



Disusun Oleh :

IBRAHIM RASYID
16.331.0477

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**STUDI ENERGI TERBARUKAN DENGAN MEMANFAATKAN
WIND CATCHER UNTUK PENDINGINAN PASIF
MELALUI VENTILASI ALAMI**

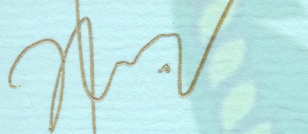
DISUSUN OLEH :

IBRAHIM RASYID

163310477

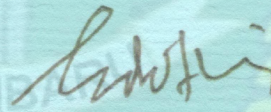
Disetujui dan Diperiksa Oleh :

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK MESIN**



Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., Phd

PEMBIMBING



Eddy Elfiano, ST., M.Eng

LEMBAR PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

**STUDI ENERGI TERBARUKAN DENGAN MEMANFAATKAN
WIND CATCHER UNTUK PENDINGINAN PASIF MELALUI
VENTILASI ALAMI**

Disusun Oleh:

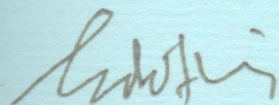
IBRAHIM RASYID

163310477

Diperiksa Dan Disetujui Oleh :

DOSEN PEMBIMBING

Tanggal : 02/08/2021



Eddy Elfiano, ST., M.Eng

Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah Subhana wa Ta'ala karena atas Rahmat dan karunia-Nya yang berupa kemampuan, kesehatan dan juga kesempatan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan, dorongan dan bimbingan selama menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu kepada:

1. Kedua orang tua terkasih Ayahanda Harun Arasyid dan Ibunda Uyu Yuningsih, Serta seluruh keluarga besar yang selalu mendo'akan dan memberikan dukungan baik secara moril maupun finansial, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Jhonni Rahman, B.Eng., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau.
3. Rafil Arizona, ST., M.Eng. selaku Sekretaris Prodi serta dosen-dosen yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
4. Eddy Elfiano, ST., M.Eng. selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Saudara dan Saudari kandung saya Agus Hasyim., S.I dan Elis Yuliawati., S,pd terimakasih atas dukungan dan doa yang telah diberikan selama ini.
6. Aldo Rao Rivaldo, ST, Alfinovawan Lumban Tobing, Andi Prayugo, ST Boy Ardiansyah, SH, Gamma Alan Sukma, M. Arif Rahmat, Ibnu Rasyid dan Niko Tacker, ST, Yogi Saputra. terimakasih atas kebersamaan, dukungan serta bantuannya yang telah diberikan selama ini.
7. Marliana Safitri adik tercinta, Terimakasih atas kebersamaan, doa serta dukungan yang diberikan selama ini.

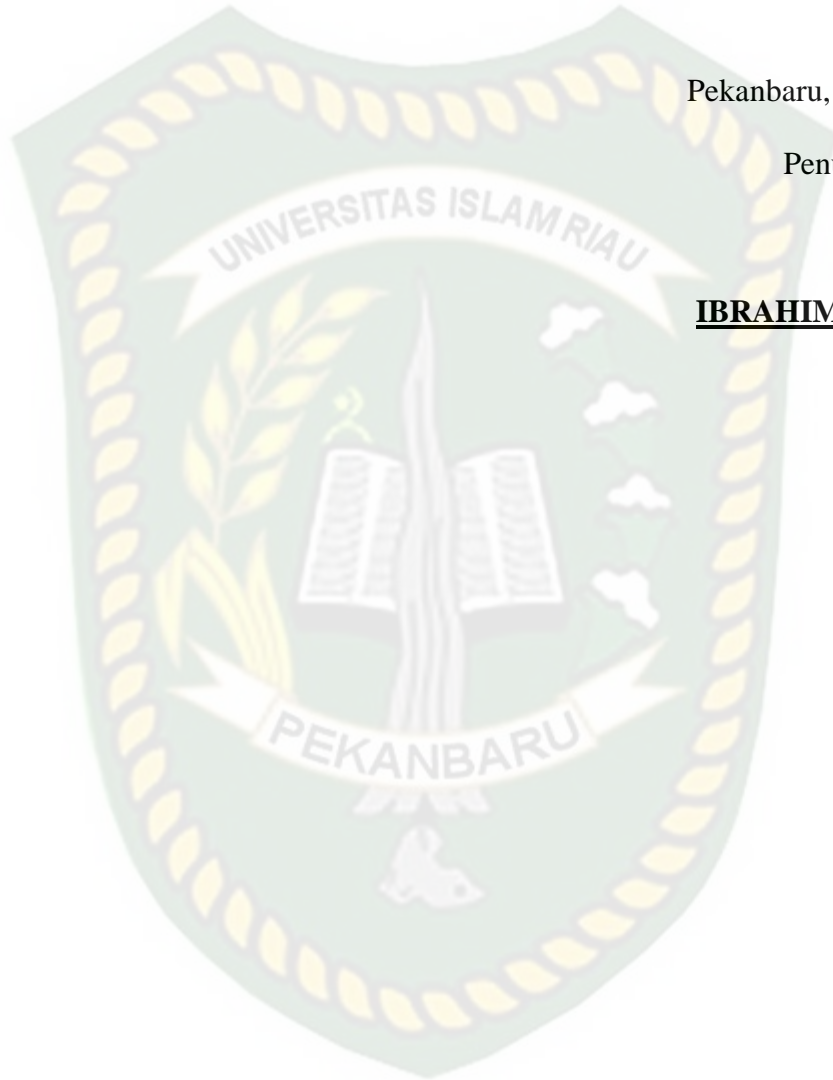
8. Teman-teman seperjuangan angkatan 2016, terkhususnya untuk Teknik Mesin kelas B terimakasih atas kebersamaannya selama menjalani proses perkuliahan, serta teman dan sahabat yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga bantuan yang telah diberikan kepada penulis dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, Juli 2021

Penulis

IBRAHIM RASYID



STUDI ENERGI TERBARUKAN DENGAN MEMANFAATKAN *WIND CATCHER* UNTUK PENDINGINAN PASIF MELALUI VENTILASI ALAMI

Eddy Elfiano, S.T., M.Eng^[1], Ibrahim Rasyid^[2]

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

ibrahimrasyid@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Ketersediaan sumber energi yang tidak terbarukan semakin menipis, berbanding terbalik dengan sumber energi terbarukan yang kesediannya meningkat dan selalu tersedia. solusi yang lebih murah dan berdampak baik bagi lingkungan dengan mengkondisikan bangunan menggunakan *wind catcher* dengan sistem ventilasi udara alami. *Wind catcher* memiliki prinsip kerja menangkap angin segar dari luar kemudian angin dialirkan ke dalam bangunan untuk melepaskan panas yang ada di dalam ruangan bertujuan untuk menghilangkan suasana pengap. Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan metode eksperimental dan *numerical*, pengambilan data eksperimental dilakukan dengan mengambil data beberapa kali setiap 15 menit dalam waktu satu jam yang dari pukul 09.00-15.00 Wib. Nilai parameter tertinggi yang dihasilkan pada kecepatan angin yang masuk melalui *windward* 3,16 m/s dan masuk ke dalam ruangan dengan kecepatan angin 2,2 m/s, dengan temperatur sekitar 30,3°C, temperatur pada bagian *windward* 33,7°C dan temperatur ruangan menjadi 31,9 °C. dengan keadaan cuaca berawan dan intensitas cahaya matahari 241,5 W/m². Intesitas cahaya matahari tertinggi pada penelitian ini dengan nilai 794,18 W/m² pada pukul 14.00 yang mempengaruhi temperatur menjadi 31,7°C mengakibatkan kelembaban menurun menjadi 28,9%. Nilai *air change per hour* (ACH) tertinggi yang dicapai pada penelitian ini adalah 23,68 yang artinya jumlah pergantian seluruh udara didalam ruangan dengan udara segar dari luar setiap jam. Jenis aliran yang terjadi pada *wind catcher* adalah turbulen pada saat masuknya angin melalui *windward* dan laminar pada saat angin masuk ke dalam ruangan. Intensitas cahaya matahari berbanding lurus terhadap kelembaban udara dan temperatur pada sistem *wind catcher* dengan ventilasi alami ini. Kecepatan angin berbanding lurus terhadap ACH. yang mempengaruhi distribusi angin pada *wind catcher* adalah cuaca yang terus mengalami perubahan

Kata kunci: *Wind Catcher*, Angin, *Air Change Per Hour*, Intensitas Cahaya Matahari, Temperatur, Kelembaban.

STUDY OF RENEWABLE ENERGY USING WIND CATCHER FOR PASSIVE COOLING THROUGH NATURAL VENTILATION

Eddy Elfiano, S.T., M.Eng^[1], Ibrahim Rasyid^[2]

Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

Islamic University of Riau

ibrahimrasyid@student.uir.ac.id

ABSTRACT

The availability of non-renewable energy sources is dwindling, inversely proportional to renewable energy sources whose availability is increasing and always available. a cheaper solution and has a good impact on the environment by conditioning the building using a wind catcher with a natural air ventilation system. The wind catcher has the working principle of catching fresh air from the outside and then flowing it into the building to release the heat in the room, aiming to eliminate the stuffy atmosphere. This research was carried out using experimental and numerical methods, experimental data retrieval was carried out by taking data several times every 15 minutes within one hour from 09.00-15.00 WIB. The highest parameter value generated at the wind speed that enters through the windward is 3.16 m/s and enters the room with a wind speed of 2.2 m/s, with a temperature of around 30.3oC, the temperature in the windward is 33.7oC and room temperature to 31.9 oC. with cloudy weather conditions and sunlight intensity 241.5 W/m². The highest intensity of sunlight in this study with a value of 794.18 W/m² at 14.00 which affects the temperature to 31.7oC resulting in a decrease in humidity to 28.9%. The highest value of air change per hour (ACH) achieved in this study was 23.68, which means the number of changes in all air in the room with fresh air from outside every hour. The type of flow that occurs in the wind catcher is turbulent when the wind enters through the windward and laminar when the wind enters the room. The intensity of sunlight is directly proportional to the humidity and temperature of the wind catcher system with this natural ventilation. Wind speed is directly proportional to ACH. What affects the distribution of the wind on the wind catcher is the weather that continues to change

Keywords: Wind Catcher, Wind, Air Change Per Hour, Sunlight Intensity, Temperature, Humidity.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Energi Baru Terbarukan.....	4
2.1.1 Sumber Energi Terbarukan.....	4
2.2 <i>Wind Cartcher</i> (Penangkap Angin).....	6
2.2.1 Sejarah <i>wind catcher</i> (Penangkap Angin)	6
2.2.2 Konsep <i>Wind Catcher</i>	7
2.2.3 Jenis-jenis <i>Wind Catcher</i>	8
2.2.4 Kelebihan dari <i>wind catcher</i>	14
2.2.5 Komponen <i>Wind Catcher</i>	15
2.3 Ventilasi	17
2.3.1 Ventilasi Alami.....	18
2.3.2 Prinsip Kerja Ventilasi Alami	19

2.3.3	Laju aliran Volume.....	21
2.3.4	Jenis-Jenis Ventilasi Alami.....	21
2.3.5	Kenyamanan <i>Thermal</i>	24
2.3.6	Efek Bernouli Dan Tabung Venturi	26
2.3.7	Kelebihan Ventilasi Alami	27
2.3.8	Kekurangan Ventilasi Alami	27
2.4	Sistem Sirkulasi Udara pada Bangunan	28
2.5	Bilangan Reynold.....	29
2.6	Aliran Fluida	29
2.6.1	Laminar dan Aliran Turbulen Dalam Tabung	30
2.5	Computational Fluid Dynamics (CFD).....	32
2.5.1	Penjelasan Umum.....	32
2.5.2	Manfaat <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD).....	32
2.6	Pendinginan Pasif.....	33
2.7	Kondisi Geografis	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Diagram Alir Penelitian	36
3.2	Studi Literatur	37
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian	37
3.3.1	Tinggi Wilayah Bukit Raya.....	37
3.3.2	Lokasi Penelitian	38
3.4	Alat dan Bahan.....	38
3.4.1	Alat	38
3.4.2	Bahan.....	42
3.5	Metode Pengujian	45
3.6	Jadwal Kegiatan Penelitian	47

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Data Hasil Penelitian.....	49
4.2	Hasil dan Pembahasan dengan metode experimental dan <i>numerical</i>	50
4.2.1	Parameter yang digunakan dalam penelitian	50
4.2.2	Analisa pembahasan data hasil penelitian secara <i>experimental</i> yang dilakukan tiap jam.	51
4.3	Analisa Grafik	54
4.4.1	Grafik data hasil penelitian pada pengujian hari pertama 04 Januari 2021	54
4.4	Analisa Pembahasan Data Hasil Penelitian dengan Metode <i>Numerical</i> menggunakan CFD.....	61
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbedaan <i>Wind catcher</i> di Negara Timur Tengah	6
Gambar 2.2 Prinsip Kerja Penangkap Angin	7
Gambar 2.3 Penangkap Angin Satu Sisi	8
Gambar 2.4 Penangkap Angin Dua sisi	9
Gambar 2.5 Penangkap Angin Empat Sisi	10
Gambar 2.6 Penangkap Angin <i>Hexahedral</i> dan <i>Octahedral</i>	10
Gambar 2.7 Sistematis Penangkap Angin Dengan Panel Surya dan <i>Blower</i> (<i>Powered Fan</i>)	11
Gambar 2.8 <i>Wind Catcher</i> di Negara UK	12
Gambar 2.9 Bangunan Cagar Alam Springs di Las Vegas	12
Gambar 2.10 Taman Nasional Zion di Utah di America Serikat.....	13
Gambar 2.11 Gedung Pusat Penelitian Torrent di Ahmedabad di India.....	13
Gambar 2.12 Perbedaan bentuk modern dari <i>wind catcher</i>	13
Gambar 2.13 Komponen <i>wind Catcher</i>	14
Gambar 2.14 Partisi dari <i>Wind Catcher</i>	16
Gambar 2.15 Sistematis <i>single side ventilation</i>	23
Gambar 2.16 Sistematis <i>double side ventilation</i>	23
Gambar 2.17 <i>Cros ventilation</i>	24
Gambar 2.18 Diagram Sederhana <i>Stack-Effect Ventilation</i>	25
Gambar 2.19 Efek Bernouli	26
Gambar 2.20 Tabung Venturi	28
Gambar 2.21 Jenis Aliran Fluida	30
Gambar 2.22 (a) <i>Circular tube</i> (b) <i>Square duct</i> (c) <i>Rectangular duct</i>	30
Gambar 2.23 Jenis Pengaturan Pendinginan Pasif.....	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3.2 <i>Workshop</i> Fakultas Teknik.....	37
Gambar 3.3 <i>Wind Catcher</i>	38
Gambar 3.4 <i>Wind Catcher</i> Tampak Atas	38
Gambar 3.5 Anemometer	39
Gambar 3.6 Termometer Digital	40
Gambar 3.7 <i>Hygrometer</i>	40

Gambar 3.8 <i>Pyranometer</i>	41
Gambar 3.9 Baja Ringan	42
Gambar 3.10 Baut	42
Gambar 3.11 <i>Cover Plastik</i>	43
Gambar 3.12 Ventilasi	43
Gambar 3.13 Atap <i>Wind Catcher</i>	44
Gambar 4.1 Grafik hubungan kecepatan angin terhadap intensitas cahaya matahari hari pertama 04 januari 2021	53
Gambar 4.2 Grafik hubungan laju aliran volume udara melalui ventilasi terhadap kecepatan angin penelitian hari pertama 04 Januari 2021	55
Gambar 4.3 Grafik hubungan intensitas cahaya matahari terhadap temperatur udara hari pertama tanggal 04 Januari 2021	56
Gambar 4.4 Grafik hubungan <i>air change per hour</i> terhadap laju aliran udara penelitian hari pertama 04 Januari 2021	57
Gambar 4.5 Grafik hubungan kelembaban udara terhadap intensitas cahaya matahari hari pertama 04 januari 2021	59
Gambar 4.6 Gambar distribusi kecepatan angin pada <i>wind catcher</i>	61
Gambar 4.7 Gambar jenis aliran udara masuk melalui <i>wind catcher</i>	62
Gambar 4.8 Distribusi tekanan udara pada <i>wind catcher</i> penelitian hari pertama penelitian	64
Gambar 4.9 Distribusi vektor aliran angin pada <i>wind catcher</i> pada penelitian	65
Gambar 4.10 Distribusi vektor temperatur pada <i>wind catcher</i> pada penelitian	66
Gambar 4.11 Gesekan udara yang terjadi pada saat udara berbeda tekanan	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 kebutuhan <i>air changes per hour</i>	21
Tabel.2.2 Kecepatan Angin dan Pengaruh terhadap Kenyamanan Termal	27
Tabel 3.1 Tinggi Wilayah (mdpl) Kecamatan Pekanbaru.....	36
Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian	47
Table 4.1 Data Data hasil Pengujian pada hari pertama 04 januari 2021	49
Table 4.8 Data hasil analisa perhitungan pada hari pertama 04 Januari 202.....	52



DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
Q_r	Laju aliran volume angin masuk ke ruangan	(m ³ /s)
V	Volume ruangan	(m ³)
t	Waktu	(s)
v_{surr}	Kecepatan angin sekitar	(m/s)
v_{wd}	Kecepatan angin masuk melalui <i>windward</i>	(m/s)
v_r	Kecepatan angin masuk ke ruangan	(m/s)
V_{vent}	Laju aliran volume angin masuk melalui ventilasi	(m ³ /s)
L	<i>Lengthy</i> (panjang maksimum)	(m)
W	<i>Width</i> (lebar)	(m)
H	<i>High</i> (tinggi ruangan)	(m)
A	Luas bukaan inlet	(m ²)
D_H	Diameter hidrolis	(m)
ρ_a	Massa jenis fluida	(kg/m ³)
Re	Bilangan Reynolds	-
Pr	Prandtl <i>number</i>	-
ν	Viskositas kinematis	(m ² /s)
T_{surr} (surround)	Temperatur Sekitar	°C
T_{wd} (<i>windward</i>)	Temperatur angin masuk melalui <i>windward</i>	°C
T_r (room)	Temperatur udara yang masuk ke ruangan	(°C)
RH	<i>Relative Humidity</i>	(%)
I_r	Intensitas Cahaya Matahari	(W/m ²)
C_v	Efektivitas bukaan	-
c	<i>Capacity ratio</i> (rasio luas bukaan)	-

ACH	<i>Air Change per Hour</i>	-
K_s	Tinggi Kekasaran	m
C_s	Konstanta Kekasaran	m



Dokumen ini adalah Arsip Milik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di dunia semakin meningkat, hal ini terjadi karena faktor pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi untuk kebutuhan komersial, transportasi, perumahan dan bangunan. Hal inilah yang menyebabkan timbulnya permasalahan yaitu pemanasan global. Pemanasan global ini disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya konsumsi energi yang menghasilkan emisi CO₂ menyebabkan polusi udara yang berasal dari bahan bakar fosil yang digunakan untuk sistim pendinginan.

Ketersediaan sumber energi yang tidak terbarukan semakin menipis, berbanding terbalik dengan sumber energi terbarukan yang kesediannya meningkat dan selalu tersedia. pemanfaatan sistem energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan dan dapat mengurangi konsumsi energi listrik yang berlebihan seperti pemanfaatan energi angin sebagai sistem ventilasi udara alami.

Kenyamanan suhu di dalam ruangan berpengaruh besar terhadap kehidupan manusia, apabila kenyamanan suhu terpenuhi akan berdampak positif pada produktivitas kinerja pengguna. Sehingga aktivitas dalam bangunan berjalan dengan maksimal (Sugini, 2004). Pada saat ini hampir seluruh bangunan menggunakan AC (*Air Conditioning*) tetapi membutuhkan biaya operasional yang mahal serta dampaknya terhadap lingkungan yang menyebabkan pemanasan global. solusi yang lebih murah dan berdampak baik bagi lingkungan dengan mengkondisikan bangunan menggunakan *wind catcher* dengan sistem ventilasi udara alami.

Wind catcher menggunakan metode *buoyancy effect* untuk sistem kerjanya, *buoyancy effect* adalah udara panas yang memiliki densitas rendah naik keatas sementara udara dingin yang memiliki desitas tinggi turun kebawah (Bilgen & Muftuoglu, 2008). Sistem kerja dari *wind catcher* ini adalah dengan menangkap angin dari aliran udara luar dan angin masuk ke dalam gedung untuk mendinginkan ruangan di dalamnya secara langsung dengan cara perpindahan panas konveksi dan menguap dari bagian bawah ke permukaan. Cara ini mendinginkan bagian dalam

secara tidak langsung dengan menghilangkan panas yang ada di dalam bangunan (Montazeri & Azizian, 2008). Angin menjadi fluida kerja dalam sistem ini karena membawa perbedaan tekanan pada sisi masuk angin (*windward*) dan sisi keluar angin (*leeward*) dari *wind catcher*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dengan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang dapat ditentukan adalah sebagai berikut:

1. Berapa besarkah kecepatan, suhu dan kelembaban yang dapat dihasilkan dari performa *wind catcher* dengan ventilasi alami.
2. Faktor apa saja yang dapat mempengaruhi parameter distribusi angin pada *wind catcher*.
3. Bagaimana hasil parameter dari distribusi angin dengan menggunakan metode eksperimental pada *wind catcher*
4. Bagaimana aliran angin pada *wind catcher* menggunakan simulasi dengan metode *numerical*.

1.3 Tujuan Penelitian

Disetiap penelitian tentu ada tujuan yang ingin dicapai, adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui berapa besarkah kecepatan udara, suhu dan kelembaban yang dihasilkan pada *wind Catcher*.
2. Untuk mengetahui faktor apa saja yang dapat mempengaruhi distribusi angin pada *wind catcher*.
3. Untuk mengetahui jenis aliran udara yang dihasilkan pada *wind catcher* menggunakan metode eksperimental.
4. Untuk mengetahui aliran udara pada *wind catcher* menggunakan simulasi dengan metode *numerical*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini akan banyak menimbulkan permasalahan-permasalahan yang akan terjadi. Oleh karena itu, penulis membatasi penelitian ini agar tidak

keluar atau menyimpang dari materi pembahasan. Adapun pembahasannya sebagai berikut:

1. Menganalisa hasil tangkapan angin dengan menggunakan metode eksperimental dan simulasi dengan metode *numerical*.
2. Pengujian dilakukan hanya mencari hasil dari kinerja alat ini berupa kecepatan udara, suhu udara dan kelembaban yang dihasilkan.
3. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan sistem pendinginan pasif dengan media angin alami yang masuk ke dalam *wind catcher*.

1.5 Manfaat penelitian

Disetiap penelitian tentu ada manfaat yang didapat, Pada penelitian ini manfaat yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Dapat menghemat energi dalam penggunaannya.
2. Menjadi alat yang ramah lingkungan.
3. Biaya *maintenance* dan penggunaan terbilang rendah.
4. Memanfaatkan udara di atas atap yang lebih segar dan terbilang cukup bersih dibandingkan dengan udara pada jendela yang rendah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Baru Terbarukan

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Ini adalah alasan utama mengapa energi terbarukan sangat terkait dengan masalah lingkungan dan ekologi di mata banyak orang.

Energi terbarukan di Indonesia terdiri dari energi surya, energi angin, biomassa, energi air, dan panas bumi. Energi surya di Indonesia menggunakan Solar PV yang memanfaatkan sinar matahari secara langsung untuk menghasilkan listrik. Kecepatan angin di Indonesia memiliki potensi yang besar terutama di daerah pesisir. Biomassa merupakan energi yang diperoleh dari sumber biologis sebagai contoh kotoran hewan dan sisa tumbuhan. Potensi ini khususnya berasal dari industri gula, minyak kelapa sawit, dan kayu. Energi air juga memiliki potensi yang besar namun debit air yang fluktuatif menyebabkan listrik yang dihasilkan tidak stabil.

2.1.1 Sumber Energi Terbarukan

Sumber energi yang bisa diperbaharui atau terbarukan dan dapat digunakan tanpa timbulnya kekhawatiran akan habis antara lain adalah energi angin:

a. Energi Angin

Angin adalah suatu jenis aliran udara yang bergerak dan memiliki kecepatan dan termasuk jenis energi kinetik karena angin suatu benda yang bergerak atau berpindah, setiap benda yang memiliki kecepatan, maka benda tersebut memiliki energi kinetik. Prinsip angin bergerak dari lokasi yang bertekanan tinggi ke tempat bertekanan rendah dan pergerakan angin juga dipengaruhi temperatur. Persamaan energi kinetik adalah sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

Dimana:

E_k = Energi Kinetik (Joule)

m = Massa (kg)

V = Kecepatan (m/s)

Penggunaan energi angin sedang banyak-banyaknya digunakan oleh berbagai Negara di seluruh dunia karena pada sumber energi ini memiliki potensi yang besar tergantung dari lokasi atau tempat, ketinggian tempat serta waktu karena angin akan berhembus lebih kencang pada siang hari dan selalu tersedia, pemanfaatan energi ini biasa dengan menggunakan sebuah kincir angin yang dihubungkan dengan sebuah generator atau turbin untuk menghasilkan tenaga listrik dan juga dimanfaatkan sebagai sistim pendinginan ruangan secara alami.

b. Energi surya atau matahari

Energi surya bersifat sustain hingga alam ini berakhir, pemanfaatan sinar matahari adalah melalui pemakaian sel surya yang kegunaannya mengkonversi suatu tenaga surya menjadi sebuah tenaga listrik. Ada pula penggunaan sinar matahari untuk memasak dengan memanfaatkan sebuah kompor bertenaga sinar surya sebagai contoh di India.

c. Energi panas bumi

Panas bumi merupakan energi yang sumbernya dari dalam perut bumi, Panas bumi adalah suatu energi yang besar di Indonesia dan terbarukan sehingga tidak perlu untuk khawatir akan kehabisan suatu energi panas bumi. Potensi energi panas bumi total adalah 19.658 MW dengan rincian di Pulau Jawa 8.100 MW, Pulau Sumatera 4.885 MW, dan sisanya tersebar di Pulau Sulawesi dan kepulauan lainnya. Sumber panas bumi yang sudah dimanfaatkan saat ini adalah 803 MW. Biasanya data energi panas bumi dapat dikelompokkan ke dalam data energi cadangan dan energi sumber. Sebagai contoh pemanfaatan panas bumi adalah dengan mengubahnya menjadi sebuah pembangkit listrik.

d. Energi Air

Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air. Itu disebabkan kondisi topografi Indonesia bergunung dan berbukit serta dialiri oleh banyak sungai dan daerah-daerah tertentu mempunyai danau/waduk yang cukup potensial sebagai sumber energi. Pembangkit listrik tenaga air atau PLTA adalah merupakan satu contoh penggunaan pada tenaga air untuk kehidupan yang lebih baik.

2.2 *Wind Cartcher* (Penangkap Angin)

2.2.1 Sejarah *wind catcher* (Penangkap Angin)

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan salah satunya adalah angin yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan dampak pemanasan global. Kecepatan angin di Indonesia memiliki potensi yang besar terutama di daerah pesisir, Ini adalah alasan utama mengapa energi terbarukan baik digunakan sebagai pendingin ruangan yang ramah lingkungan (Elzaidabi, 2009).

Wind catcher sudah digunakan sejak 2000 tahun yang lalu di Timur Tengah seperti Dubai, Jordan, Bahrain, Oman, Iran and Pakistan, Namun tidak diketahui siapa yang pertama kali menemukan *Wind catcher* (Elzaidabi, 2009). Sebelum ditemukan sistem pendingin mekanis, alat ini memanfaatkan sumber daya alam untuk memberikan kenyamanan ruangan di iklim panas, salah satu contohnya adalah penangkap angin (Valipour & oshrieh, 2012). dan sudah banyak digunakan di banyak Negara saat ini.

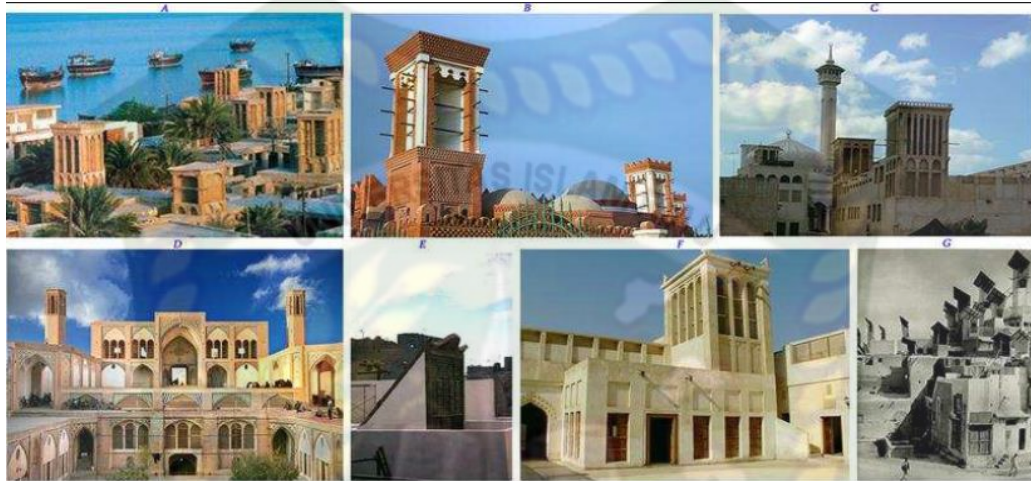
Wind catcher adalah komponen arsitektur yang ditempatkan pada atap bangunan yang memberikan udara segar ke dalam ruangan dan melepaskan udara tidak segar melalui jendela atau pembuangan lainnya (Valipour & oshrieh, 2012). Bentuk penangkap angin tidak hanya indah dan dekoratif, tetapi juga memiliki fungsi dan potensi yang cukup besar karena berperan penting dalam sistem pendinginan melalui ventilasi untuk ruangan, gudang, pada tempat ibadah dengan cara alami tanpa menggunakan energi listrik (Dehghani-Sanij, 2018) (Ismail & Miran, 2019). Karena *wind catcher* tidak memiliki bagian yang bergerak membantu mengurangi kebisingan dan biaya perawatannya yang murah (Elmualim & H.B, 2003).

Wind catcher bersifat statis dan tidak berputar mengikuti arah mata angin tidak seperti kincir angin, menangkap angin yang ada dari segala arah untuk membawa aliran udara segar ke ruangan di bawah, dan menghilangkan udara pengap pada ruangan (Elzaidabi, 2009).

(Jomehzadeh, et al., 2017) *Wind catcher* berbentuk menara dengan tinggi antara 3 meter sampai dengan 33 meter dan dipasang pada bagian atap bangunan tergantung dari jenis bangunan yang akan dipasang dan bertujuan untuk menangkap

pada ketinggian yang lebih tinggi dan langsung menyalurkan angin kebagian dalam bangunan, dengan sebutan lain adalah penangkap angin.

Di Negara Timur tengah *wind catcher* memiliki nama-nama yang berbeda seperti Badgir di Iran, Malqaf di Mesir, Barjeel di Iran, Bating di Syria dan Hawadani di Pakistan. Pada gambar 2.1 dibawah ini terdapat perbedaan *wind catcher* dari berbagai Negara.



Gambar 2.1 Perbedaan *Wind catcher* di Negara Timur Tengah (A) Badgir di iklim panas dan lembab di Iran; (B) Barjeel di Qatar; (C) Barjeel di Dubai; (D) Badgir di iklim panas dan kering di Iran; (E) Malqaf di Mesir; (F) Barjeel di Bahrain; (G) Mungh di Pakistan

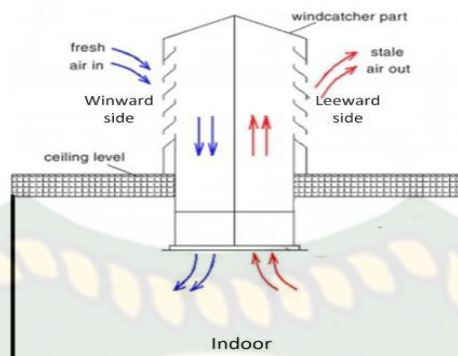
Sumber : (Valipour dan oshrieh, 2012)

2.2.2 Konsep *Wind Catcher*

(Jomehzadeh, et al., 2017) Mengatakan bahwa prinsip kerja dari sistem penangkap angin terutama didasarkan pada efek angin dan efek apung (*buoyancy*) Pada saat siang hari pergerakan angin diluar ruangan pada bagian atap masuk kedalam penangkap angin dan menimbulkan tekanan positif yang masuk melalui tempat masuknya angin (*windward*) dan pada waktu bersamaan tekanan negatif yang berada didalam ruangan akan keluar melalui tempat keluarnya angin (*leeward*).

Perbedaan tekanan ini dapat memasukkan udara segar kedalam ruangan dan membuang udara panas di dalam ruangan agar tidak terjadi suasana pengap. Pada saat malam hari, kondisi angin yang rendah sistem penangkap angin beroperasi menggunakan efek apung (*buoyancy*) alami dari kekuatan suhu melalui *windward*

(Jomehzadeh, et al., 2017). perhatikan gambar 2.2 sistem kerja penangkap angin di bawah ini.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Penangkap Angin
Sumber : (Benkari, Fazil, dan Husain, 2017)

Ketika angin mengenai sisi penangkap angin atau *Wind ward* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 itu mengakibatkan zona tekanan tinggi (positif) di sisi angin dan zona tekanan rendah (negatif) di sisi bawah angin dari penangkap angin. Angin mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah, sehingga angin masuk melalui lubang di sisi *windward* dan keluar melalui lubang di sisi angin *leeward*. Akibatnya, udara segar masuk melalui sisi *windward* dan udara panas di dalam ruangan cenderung bergerak ke arah daerah tekanan negatif di sisi *leeward* (Benkari, Fazil, & Husain, 2017).

2.2.3 Jenis-jenis *Wind Catcher*

(Nejat, Jomehzadeh, Hussien, Calautit, & Majid, 2018) Mengatakan bahwa secara umum penangkap angin dapat di bagi menjadi dua kategori utama yaitu untuk pengangkap angin searah dan multi arah atau lebih dari berbagai arah. Terdapat berbagai jenis-jenis dari penangkap angin ini yaitu penangkap angin satu sisi, dua sisi, hingga penangkap angin empat sisi dimana penangkap angin ini dapat berbentuk segi empat, segi enam dan segi delapan dari penangkap angin. Adapun jenis-jenis dari penangkap angin adalah sebagai berikut:

1. Penangkap angin satu sisi

Kebanyakan Negara Timur Tengah menggunakan penangkap angin satu sisi karena arah angin yang searah di daerah pemukiman dan memiliki kualitas angin yang bagus, Kinerja dari penangkap angin satu sisi ini bergantung

pada arah mata angin. Kekurangan dari penangkap angin jenis ini adalah apabila arah angin yang tidak beraturan maka penangkap angin ini tidak akan berfungsi dengan baik. Pada gambar 2.3 dibawah ini terdapat penangkap angin jenis satu sisi.



Gambar 2.3 Penangkap Angin Satu Sisi

Sumber : (Nejat, Jomehzadeh, Hussen, Calautit, & Majid, 2018)

2. Penangkap angin dua sisi

Di Negara yang memiliki sumber angin yang kuat, penangkap angin dua sisi ini sangat banyak dimanfaatkan. Karena angin masuk dari sisi *windward* ke dalam ruangan dan keluar dari lubang ventilasi, pintu dan jendela. Pada gambar 2.4 dibawah ini terdapat penangkap angin jenis dua sisi.



Gambar 2.4 Penangkap Angin Dua sisi

Sumber : (Nejat, Jomehzadeh, Hussen, Calautit, & Majid, 2018)

3. Penangkap angin empat sisi

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penangkap angin empat sisi ini memiliki kelebihan dari jenis-jenis penangkap angin lainnya dan banyak digunakan di Negara timur tengah. Karena bisa menangkap angin dari empat mata arah angin dengan satu alat. Rancangan ini sangat bergantung pada arah mata angin, karena itu di rancang sebuah penangkap angin empat sisi untuk menangkap angin dari segala arah. Penangkap angin ini biasa digunakan oleh orang-orang kaya di kota Yazd, Iran. Pada gambar 2.5 dibawah ini terdapat penangkap angin jenis empat sisi.



Gambar 2.5 Penangkap Angin Empat Sisi

Sumber : (Nejat, Jomehzadeh, Hussien, Calautit, & Majid, 2018)

4. Penangkap angin *Hexahedral* dan *octahedral*

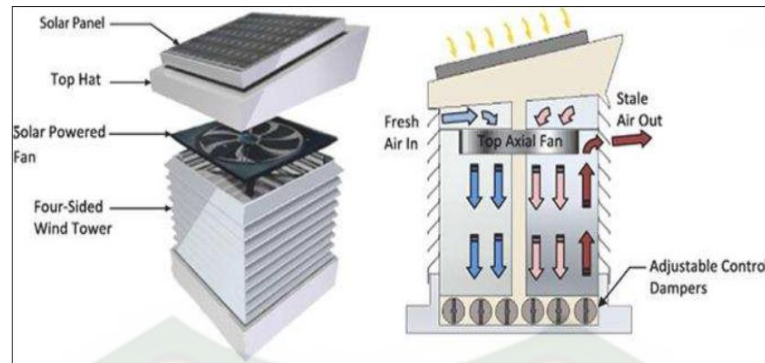
Pengangkap angin jenis ini biasanya dalam bentuk segi enam atau segi delapan, Umumnya, jenis ini lebih tinggi dari penangkap angin lainnya, pada penangkap angin ini akan lebih stabil terhadap tekanan angin karena bentuk menara menyebabkan aliran udara yang lewat dengan tekanan yang lebih rendah. Pemanfaatan penangkap angin ini masih terbatas di dunia, pada gambar 2.12 Menunjukkan penangkap angin tradisional tertinggi di dunia dengan bentuk segi delapan dan tingginya sekitar 40 meter, di sebuah taman terkenal di kota Yazd, Iran. Pada gambar 2.6 dibawah ini terdapat penangkap angin jenis *Hexahedral* dan *octahedral*.



Gambar 2.6 Penangkap Angin *Hexahedral* dan *Octahedral*
 Sumber : (Nejat, Jomehzadeh, Hussien, Calautit, & Majid, 2018)

5. Penangkap angin menggunakan panel surya dan *blower*.

Penangkap angin jenis ini dapat mengurangi masalah dari kurangnya angin dan arah mata angin yang tidak beraturan dengan bantuan panel surya yang dimana energi listrik yang dihasilkan oleh matahari digunakan untuk menggerakkan *blower* yang bertujuan untuk memaksa udara masuk ke dalam penangkap angin dan dialirkan ke dalam ruangan untuk bersirkulasi. Namun pada malam hari *blower* tidak dapat bekerja dengan baik kerana kurangnya energi listrik untuk menggerakkan karena panel surya tidak mendapatkan sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik. Pada gambar 2.7 dibawah ini terdapat penangkap angin jenis penangkap angin dengan panel surya dan *blower*.



Gambar 2.7 Penangkap Angin Dengan Panel Surya dan *Blower* (*Powered Fan*)
Sumber : (Valipour dan oshrieh, 2012)

6. *Wind Catcher* di Negara UK.

Penangkap angin telah banyak dikembangkan dari yang bentuknya tradisional menjadi bentuk yang modern, Penangkap angin yang modern sudah banyak terdapat di berbagai Negara salah satunya adalah UK, yang dimana digunakan pada bangunan seperti Rumah sakit, *seaside school* *Addey and Stanhope school*, *Tesco Eco-store*. Perbedaan bentuk modern dari *wind catcher* dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 *Wind Catcher* di Negara UK (A) *Royal Chelsea hospital*, London; (B) *Seaside School*, Lancing; (C) *Addey and Stanhope school* Deptford; (D) *Tesco Eco-store* Cheetham Hill

Sumber : (Valipour & oshrieh, 2012)

7. *Wind Catcher* pada bangunan modern.

Penggunaan *Wind catcher* pada bangunan modern sudah banyak di gunakan di berbagai Negara, karena tidak hanya bentuknya yang menambah keindahan bangunan dan memiliki fungsi yang dapat mengurangi konsumsi energi listrik. Gambar *wind catcher* pada bangunan modern dapat dilihat pada gambar 2.9



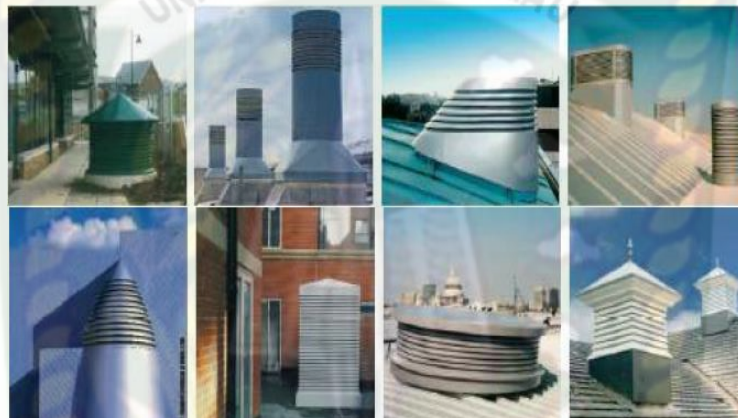
Gambar 2.9 Bangunan Cagar Alam Springs di Las Vegas
Sumber : (Hughes, Chaudhry, & Ghani, 2011)



Gambar 2.10 Taman Nasional Zion di Utah di America Serikat
Sumber : (Hughes, Chaudhry, & Ghani, 2011)



Gambar 2.11 Gedung Pusat Penelitian Torrent di Ahmedabad di India
 Sumber : (Hughes, Chaudhry, & Ghani, 2011)



Gambar 2.12 Perbedaan bentuk modern dari *wind catcher*
 Sumber : (Hughes, Chaudhry, & Ghani, 2011)

2.2.4 Kelebihan dari *wind catcher*.

Adapun kelebihan dari *wind catcher* ini adalah sebagai berikut (Elzaidabi, 2009):

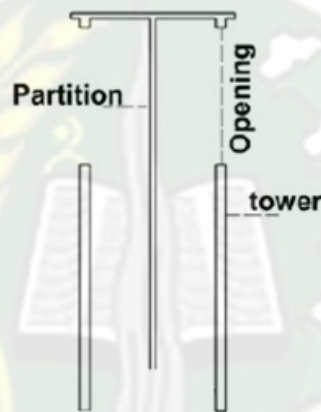
1. Sistem ini tidak menggunakan energi listrik dalam pengoperasiannya.
2. Memberikan udara segar yang bersih.
3. Terletak pada atap bangunan menambah estetika dari bentuk bangunan.
4. Minimnya perawatan, biaya perawatan yang murah dan angin yang selalu tersedia.
5. Keuntungan utama dari sistem penangkap angin adalah fasilitas pendinginan malam hari, yang dengan peredam terbuka sepenuhnya memungkinkan udara malam yang lebih dingin turun ke tingkat lantai,

sedikit memberi tekanan pada bangunan tetapi juga memaksa udara pengap keluar. dari sisi berlawanan dari sistem *Wind catcher*.

6. Karena udara yang di ambil ke dalam ruangan dari permukaan atap maka udara relatife bebas dari kotoran yang sering terjadi di permukaan tanah.

2.2.5 Komponen *Wind Catcher*

Biasanya penangkap angin berbentuk segi empat atau segi delapan dengan menara yang dipisahkan dengan sekat. Penangkap angin ini setidaknya memiliki satu bukaan atau ventilasi pada bagian atas untuk masuknya udara kedalam ruangan. Pada gambar 2.13 di bawah ini terdapat komponen dari *wind catcher*.



Gambar 2.13 Komponen *wind Catcher*
Sumber : (Valipour dan oshrieh, 2012)

1. Tower

Bagian utama dari wind catcher adalah tower yang terletak di atas gedung dan ketinggian tower tergantung tempat dan lingkungan. Bagian yang lebih tinggi adalah tempat ventilasi ditempatkan dan bagian bawah menara yang menggambarkan tangkai. permukaan luar akan didekorasi untuk menambah estetika dari *wind catcher*.

2. *Opening*

Opening atau biasa di sebut ventilasi terletak pada bagian atas menara sebagai laluan udara masuk ke ruangan. Jumlah ventilasi tergantung pada jenis penangkap angin. bentuk heksagonal, persegi panjang, oktagonal dan persegi tergantung dari jenis *wind catcher*.

- *Wind catcher* persegi
Wind catcher jenis ini memiliki dua sampai empat sisi ventilasi yang dapat menangkap udara dari dua sampai empat arah mata angin.
- *hexagonal wind catcher*
Wind catcher jenis ini umumnya memiliki enam - delapan sisi dari tower.
- *Rectangular wind catcher*
Wind catcher bentuk ini jenis ini memiliki satu, dua atau empat sisi bukaan.

3. Partisi Pada Wind Catcher.

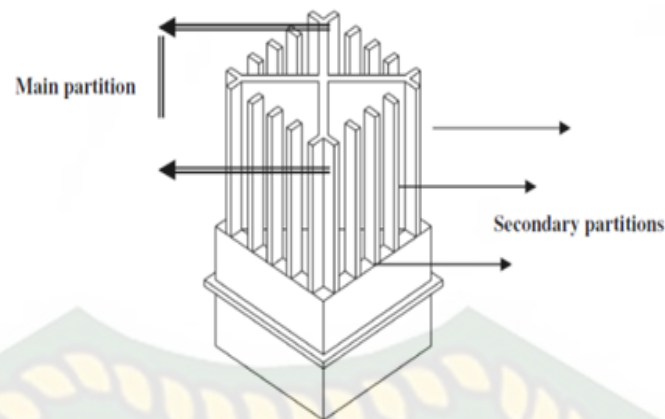
Ada beberapa partisi atau bagian dari *wind catcher* yaitu partisi utama dan partisi kedua yang bertujuan untuk melindungi, membantu udara masuk dan membantu struktur menara terbuat dari batu bata dan jenis bahan yang kuat lainnya.

1. Partisi utama (*Main Partition*).

Partisi utama berada tepat di tengah tower akan dibagi lagi menjadi empat enam atau delapan bagian. Partisi membantu udara masuk dan keluar pada saat bersamaan. Partisi utama biasanya berbentuk "H", tegak lurus atau diagonal (Valipour & oshrieh, 2012).

2. Partisi kedua (*Secondary Partition*).

Partisi kedua atau bagian kedua dari *wind catcher* memiliki tujuan yaitu menambahkan struktur yang kuat. Partisi sekunder selebar dinding luar ruangan dan menjaga permukaan yang kontak dengan angin panas di siang hari agar udara yang masuk tidak terasa panas.



Gambar 2.14 Partisi dari *Wind Catcher*
Sumber : (Valipour dan oshrieh, 2012)

2.3 Ventilasi

Secara geografis, wilayah Indonesia terletak diantara 2 samudera yaitu hindia dan pasifik serta 2 benua yaitu Asia dan Australia. Hal ini memperjelas bahwa wilayah Indonesia memiliki iklim tropis lembab. Akibatnya adalah uap air dalam jumlah banyak berasal dari permukaan samudera terbawa oleh tiupan angin melewati wilayah Indonesia. Wilayah ini memiliki suhu antara $28 - 38^{\circ}\text{C}$ pada musim kemarau dan $25 - 29^{\circ}\text{C}$ pada saat musim hujan. Kelembaban yang terjadi pada musim kemarau sekitar 40%-70% sedangkan kelembaban pada saat musim hujan sekitar 80%-100%. Selain itu, wilayah yang memiliki iklim tropis lembab akan menerima banyak radiasi matahari (Arifah, Adhitama, & Nugroho, 2017). Indonesia termasuk Negara beriklim panas lembab yang memiliki dua musim yaitu kemarau dan musim hujan.

(Satwiko, 2009) Mengatakan ciri-ciri umum dari iklim tropis lembab di wilayah Indonesia adalah sebagai berikut:

1. Suhu udara maksimum $27^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$ sedangkan minimum $20^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$.
2. Kelembaban rata-rata 75% - 80%.
3. Curah hujan selama setahun antara 1000 mm – 5000 mm.
4. Kondisi langit yang berawan dengan jumlah awan 60 % – 90 %.
5. Radiasi matahari global harian rata-rata bulanan sekitar 400 watt/m
6. Kecepatan Angin yang rendah yaitu sekitar 2 – 4 m/s.

Pada saat musim kemarau memiliki suhu yang tinggi dan kecepatan angin yang rendah di daerah perkotaan, ventilasi menjadi salah satu solusi yang dapat digunakan untuk menyediakan oksigen ke dalam ruangan serta pertukaran udara di dalam ruangan untuk menukar udara kotor (polutan) yang termasuk di dalamnya karbon dioksida dan bau ruangan. Pada bangunan atau ruangan, umumnya terdapat dua fungsi ventilasi, yaitu *inlet* dan *outlet*. Ventilasi yang berfungsi sebagai *inlet*, disarankan diletakkan pada ketinggian manusia (60–150 cm) agar udara dapat mengalir di sekitar manusia. Sedangkan untuk ventilasi yang berfungsi sebagai *outlet* harus diletakkan lebih tinggi dari *inlet*, agar udara panas dalam ruangan dapat mengalir keluar (Satwiko, 2009).

Kenyamanan *thermal* dan kesehatan adalah dua aspek yang erat kaitannya dengan ventilasi ruangan. Pada dasarnya terdapat dua jenis ventilasi yaitu sebagai berikut:

- Ventilasi Alami
Adalah pergantian udara secara alami tanpa bantuan peralatan mekanis seperti kipas maupun AC (*air conditioner*).
- Ventilasi Mekanis
Adalah pendinginan ruangan dengan bantuan peralatan mekanis seperti kipas maupun AC, bertujuan untuk memperoleh kenyamanan thermal ruangan. Namun dengan ventilasi buatan ini memberikan atau memperhitungkan menambah biaya operasional, biaya pemeliharaan dan biaya penggantian dalam penggunaannya.

2.3.1 Ventilasi Alami

Sebuah penelitian memperkirakan ventilasi alami dapat digunakan secara efektif pada 1854 lokasi di seluruh dunia. Selain itu, *Building Energy Simulation* (BES) menunjukkan 60 kota terbesar di dunia memiliki potensi besar untuk penghematan energi dengan ventilasi alami (Satwiko, 2009).

Dalam beberapa dekade terakhir pertumbuhan populasi yang cepat, sehingga sangat penting untuk menyelidiki bagaimana cara untuk penghematan energi yang

cukup besar di sektor bangunan adalah dengan menerapkan ventilasi alami (Chen, Tong, & Malkawi, 2017).

Ventilasi alami adalah teknik pendinginan pasif untuk mempertahankan tingkat kualitas udara yang baik dengan cara alami. Dalam beberapa kasus, bangunan memerlukan sirkulasi udara yang lebih besar untuk mensirkulasikan suhu dan kelembaban udara tinggi dalam ruangan agar memenuhi kebutuhan kesegaran yang berasal dari udara luar. Sistem ventilasi alami banyak digunakan di Negara yang beriklim tropis karena dapat mengurangi penggunaan energi (Dutton & Shao, 2010).

Ventilasi alami sebagai media terjadinya proses menyediakan dan menghilangkan udara dengan menggunakan energi alami seperti angin, suhu dan perbedaan tekanan untuk mensirkulasikan udara di dalam ruangan yang masuk dan keluar melalui ventilasi dan jendela.

Ventilasi alami memiliki beberapa fungsi yang diperlukan, yaitu sebagai berikut:

- sebagai media penyedia udara segar ke dalam ruangan untuk menetralkan polutan, atau berfungsi untuk menjaga kualitas udara dalam ruangan dalam kondisi baik.
- sebagai media untuk mendinginkan ruangan yang kelebihan panas.

2.3.2 Prinsip Kerja Ventilasi Alami

Sistem kerja dari ventilasi alami tergantung pada arah mata angin atau perbedaan suhu dari satu ruang ke ruang lain untuk mensirkulasikan udara melalui bangunan. Laju pertukaran udara pada ventilasi dipengaruhi oleh total luas bukaan, arah bukaan, kecepatan angin dan perbedaan suhu di luar dan di dalam ruangan. Sehingga mempengaruhi atau membentuk pola aliran dan distribusi udara dalam ruangan yang dapat menentukan besarnya distribusi suhu dan kelembaban udara serta suhu dalam ruangan.

Ventilasi alami digunakan sebagai pendinginan pasif yang sangat efektif untuk mengurangi jumlah konsumsi energi yang digunakan untuk sistem pendingin ruangan. Ventilasi alami bergantung pada dua efek untuk meningkatkan gerakan udara yaitu tekanan angin dan daya apung.

Kontrol manual sistem ventilasi alami dapat dilakukan dengan pembukaan dan penutupan lubang ventilasi serta pengaturan bukaan pada dinding. Pengaturan ventilasi alami agar tetap stabil sulit dilakukan karena proses aliran udara dipengaruhi oleh suhu, kecepatan dan arah angin yang tidak mudah dikendalikan.

Pergantian udara dalam ruangan sering dinyatakan dalam satuan ACH (*Air Change per Hour*). ACH merupakan jumlah pergantian seluruh udara dalam ruangan dengan udara segar dari luar setiap jam-nya menurut (Shintia, 2014) dalam (Satwiko, 2009). Menurut SNI, ACH yang bagus untuk ruang belajar sebesar 8 ach. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai ACH adalah sebagai berikut:

$$N = 60. Q/V \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana:

N = Jumlah *Air Change per Hour*

Q = besar laju udara (m³/s)

V = Besar Volume Ruangan (m³)

Berikut adalah tabel kebutuhan *air changes per hour* (ACH)/ pergantian udara minimal untuk sistem ventilasi yang ditunjukkan pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 kebutuhan *air changes per hour* (Satwiko, 2009)

Assembly rooms	4 - 8	Hairdressing salons	10 - 15
Bakeries	20 - 30	Hospitals - sterilizing	15 - 25
Banks/Building Societies	4 - 8	Hospitals - wards	6 - 8
Bathrooms	6 - 10	Kitchens - domestic	15 - 20
Bedrooms	2 - 4	Kitchens # - commercial	30 minimum
Billiard Rooms *	6 - 8	Laboratories	6 - 15
Boiler Rooms	15 - 30	Launderettes/Laundromats	10 - 15
Cafes and coffee bars	10 - 12	Laundries	10 - 30
Canteens	8 - 12	Lavatories	6 - 15
Cellars	3 - 10	Lecture theatres	5 - 8
Changing Rooms Main area	6 - 10	Libraries	3 - 5
Changing Rooms Shower area	15 - 20	Living rooms	3 - 6
Churches	1 - 3	Mushroom houses	6 - 10
Cinemas & theatres *	10 - 15	Offices	6 - 10
Club rooms	12 minimum	Paint shops (not cellulose)	10 - 20
Compressor rooms	10 - 20	Photo & X-ray darkrooms	10 - 15
Conference rooms	8 - 12	Public house bars	12 minimum
Dairies	8 - 10	Recording control rooms	15 - 25
Dance halls	12 minimum	Recording studios	10 - 12
Dental surgeries	12 - 15	Restaurants	8 - 12
Dye works	20 - 30	Schoolrooms	5 - 7
Electroplating shops	10 - 12	Shops and supermarkets	8 - 15
Engine rooms	15 - 30	Shower baths	15 - 20
Entrance halls & corridors	3 - 5	Stores & warehouses	3 - 6
Factories and workshops	8 - 10	Squash courts	4 minimum
Foundries	15 - 30	Swimming baths	10 - 15
Garages	6 - 8	Toilets	6 - 10
Glasshouses	25 - 60	Utility rooms	15 - 20
Gymnasiums	6 minimum	Welding shops	15 - 30

2.3.3 Laju aliran Volume

Laju ventilasi merupakan jumlah laju udara per- m^3 yang melewati sistem bukaan (jendela) ke dalam bangunan setiap jam-nya. Laju ventilasi ditentukan oleh kecepatan dan arah angin dari luar bangunan. Adanya bangunan sekitar atau penghalang pada *inlet* dapat mengurangi laju ventilasi, maka disarankan agar jarak antar bangunan berjarak minimal 6 kali dari tinggi penghalang (Shintia, 2014) dalam (Satwiko, 2009). Ketika laju aliran bagus dan mencapai nilai ACH 8, maka konsentrasi CO_2 pada umumnya akan berada dibawah 1.000 ppm. laju ventilasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut apabila tidak dilakukan pengukuran.

$$V_{vent} = \frac{V \cdot ACH \cdot 1000}{3600} \dots\dots\dots 2.2$$

Dimana:

V_{vent} = Laju aliran volume udara melalui Ventilasi (m^3/s)

V = Volume Ruangan (m^3)

ACH = Banyaknya pertukaran udara per jam

Dengan mengukur laju angin, maka laju ventilasi dapat dihitung dengan merumuskan perhitungan laju ventilasi berdasarkan perbedaan tekanan angin sebagai berikut:

$$Q_r = C_v \cdot A \cdot V \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana:

Q_r = Laju aliran angin masuk kedalam ruangan (m^3/s)

A = Luas bukaan *inlet* (m^2)

v = Kecepatan angin (m/s)

C_v = Efektifitas bukaan (C_v dianggap sama dengan 0,5 – 0,6 untuk angin frontal dan 0,25 – 0,35 untuk angin diagonal)

2.3.4 Jenis-Jenis Ventilasi Alami.

Secara umum sistem ventilasi alami terbagi atas empat jenis, adapun jenis-jenis dari ventilasi alami adalah sebagai berikut:

1. *single side ventilation*

(Elzaidabi, 2009) Mengatakan bahwa jenis ini memanfaatkan bukaan pada salah satu sisi yang di gunakan pada satu ruangan dan dengan menyediakan ventilasi yang sama sebagai keluar masuknya udara. Udara dari luar yang dingin akan mengalir kedalam ruangan melalui ventilasi dan udara panas akan mengalir keluar ruangan melalui ventilasi yang sama. *single side ventilation* tidak efektif untuk digunakan di daerah beriklim panas dan hanya cocok untuk ruangan yang kecil. Apabila lebar ruangan terlalu besar, maka pertukaran udara yang baik tidak akan terjadi, sehingga udara dalam ruangan akan terasa pengap dan tidak nyaman serta tidak baik untuk kesehatan. Jenis ini hanya cocok digunakan untuk ruang-ruangan kecil. Lebar ruangan maksimum untuk sistem ventilasi *single-sided* dapat dithitung dengan:

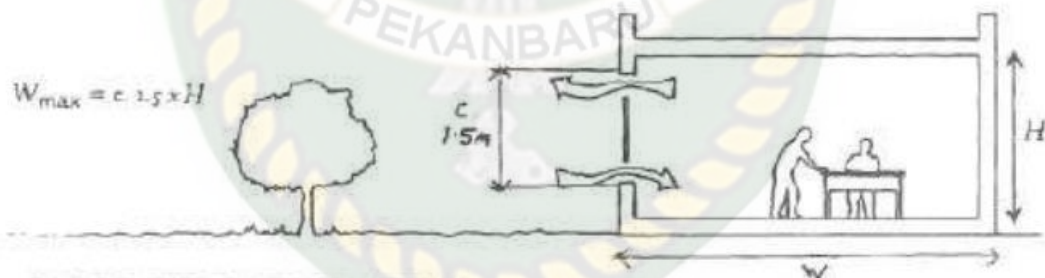
$$W_{\max} = 2,5 \times c \times H \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana:

W = Lebar maksimum (m)

c = Rasio luas bukaan dengan lantai.

H = Tinggi ruangan (m)

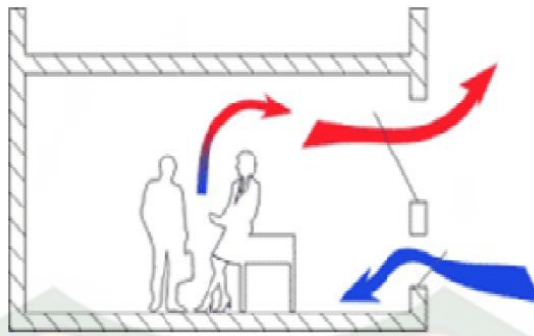


Gambar 2.15 sitematik *single side ventilation*

Sumber : (Elzaidabi, 2009)

2. *Single side Double Opening*

Jenis ini lebih efektif dari *single side ventilation* karena memiliki bukaan yang berbeda. ventilasi ini bekerja karena perbedaan jenis lapisan udara luar dan dalam bangunan. Udara dengan berat jenis rendah akan mengalir ke atas, dan udara luar yang lebih dingin (berat jenis tinggi), akan mengalir ke bawah (ruangan), yang disebut *stack-effect ventilation*.



Gambar 2.16 Sistemik *double side ventilation*
Sumber : (Elzaidabi, 2009)

3. *Cros ventilation*

Cross ventilation (ventilasi silang) merupakan sistem ventilasi dengan bukaan pada dua atau lebih sisi ruangan. Sistem ventilasi alami (*cross ventilation*) mengandalkan kekuatan pendorong alami, seperti perbedaan suhu/tekanan udara dalam bangunan dengan lingkungannya, untuk mendorong terjadinya pergerakan udara segar pada sebuah bangunan, karena angin bergerak dari tekanan udara tinggi ke rendah. perbedaan tekanan angin antara *inlet* dan lubang *outlet* diperlukan untuk memastikan aliran ventilasi yang cukup. dan jenis ini cocok digunakan untuk ruangan yang lebih besar dengan lebar maksimumnya



Gambar 2.17 *Cros ventilation*
Sumber : (Putra, 2009)

Panjang ruangan maksimum untuk sistem ventilasi silang (*cross ventilation*) dapat dihitung dengan:

$$W = 5. c. H.....2.5$$

Dimana :

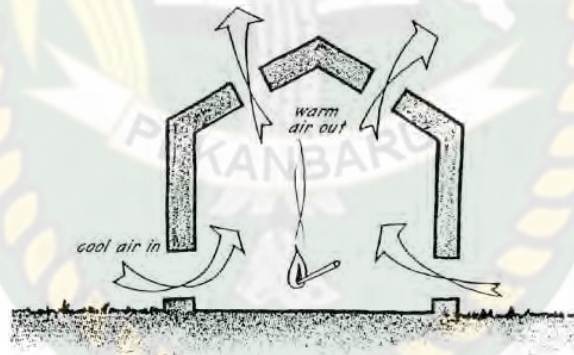
W = Lebar ruangan (m)

c = Rasio luas bukaan.

H = Tinggi ruangan (m)

4. *Stack Effect Ventilation*

Perbedaan suhu juga dapat menyebabkan bergerakanya udara. Hal ini dikarenakan udara yang bersuhu lebih tinggi memiliki tekanan udara yang lebih rendah daripada udara bersuhu rendah. Contohnya, jika udara dalam bangunan lebih panas daripada di luar, maka udara akan keluar menuju bukaan yang tinggi. Udara panas cenderung bergerak ke atas. Udara luar (yang lebih dingin) akan masuk ke dalam bangunan menggantikan tempat yang ditinggalkan udara yang panas tadi. Teknik ini biasa disebut *stack-effect ventilation*.



Gambar 2.18 Diagram Sederhana *Stack-Effect Ventilation*

Sumber : (Putra, 2009)

2.3.5 Kenyamanan *Thermal*

Menurut ASHRAE (*American society of heating, refrigerating and air conditioning engineers*, 1989) dalam (Rilatupa, 2008) , kenyamanan *thermal* merupakan kondisi dimana seseorang merasa nyaman dengan keadaan suhu lingkungannya, yang apabila digambarkan dalam konteks sensasi dimana seseorang tidak merasakan suhu udara terlalu panas maupun terlalu dingin. kenyamanan

diartikan sebagai suatu kondisi tertentu yang dapat memberikan sensasi yang menyenangkan bagi pengguna bangunan. kenyamanan termal dipengaruhi oleh enam faktor diantaranya:

1. Suhu Udara

Suhu udara merupakan faktor utama dari kenyamanan termal, Standar kenyamanan termal untuk kategori hangat nyaman untuk kondisi khatulistiwa adalah pada suhu udara $22,5^{\circ}\text{C}$ - 29°C dengan kelembaban udara 20 – 50%.

2. Intensitas Radiasi Matahari

Radiasi matahari mempunyai pengaruh yang besar terhadap sensasi *thermal*. Wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 - 12 jam dalam sehari, karena letak Indonesia berada pada daerah khatulistiwa maka Indonesia memiliki tingkat radiasi matahari yang cukup baik. Nilai intensitas cahaya matahari jika bersih langsung ke bumi bernilai 1353 W/m^2 .

3. Kelembaban udara

Kelembaban udara relatif untuk daerah tropis menurut SNI 03-6572-2001 adalah sekitar 40% - 50%. Untuk ruangan yang memiliki kapasitas padat seperti ruang pertemuan, kelembaban udara relatif yang dianjurkan adalah antara 55% - 60%.

4. Kecepatan Angin

Kecepatan udara yang baik menurut SNI 03-6572-2001 $0,25 \text{ m/s}$. Serta dua faktor individu, yaitu:

1. Aktivitas

Segala aktivitas yang dilakukan manusia akan memberikan pengaruh terhadap peningkatan metabolisme tubuh.

2. jenis pakaian yang dikenakan.

Jenis dan bahan pakaian yang digunakan oleh individu dapat berpengaruh terhadap kenyamanan termal. Manusia dapat memilih dan menentukan jenis pakaian yang dikenakan sesuai kondisi lingkungan

sekitar. Kecepatan angin dan pengaruh angin dapat dilihat pada table 2.2 dibawah ini.

Tabel.2.2 Kecepatan Angin dan Pengaruh terhadap Kenyamanan Termal (Razak, Gandarum, & Juwana, 2015)

Kecepatan Angin Bergerak	Pengaruh Atas Kenyamanan	Efek Penyegaran (Pada Suhu 30°C)
< 0.25 m/detik	Tidak dapat dirasakan	0
0.25 - 0.5 m/detik	Paling nyaman	0.5 - 0.7
0.5 - 1 m/detik	Masih nyaman, tetapi gerakan udara dapat dirasakan	1.0 - 1.2
1 - 1.5 m/detik	Kecepatan maksimal	1.7 - 2.2
1.5 - 2 m/detik	Kurang nyaman, berangin	2.0 - 3.3
> 2 m/detik	Kesehatan penghuni terpengaruh oleh kecepatan angin yang tinggi	2.3 - 4.2

2.3.6 Efek Bernoulli Dan Tabung Venturi

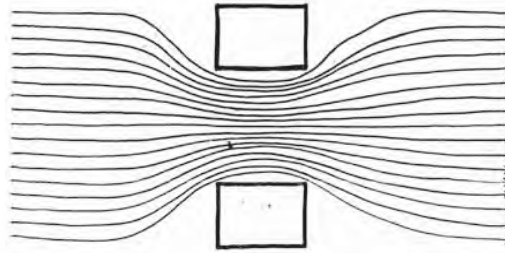
Prinsip lainnya adalah efek Bernoulli yang mengakibatkan penurunan tekanan saat pergerakan udara dipercepat (diakselerasi) untuk melewati jarak yang lebih panjang daripada sisi sebelahnya.



Gambar 2.19 Efek Bernoulli

Sumber : (Putra, 2009)

Udara yang bergerak melewati ruang bervolume lebih kecil akan mengalami percepatan dapat dilihat pada gambar 2.20. Ini disebut efek tabung Venturi.



Gambar 2.20 Tabung Venturi

Sumber : (Putra, 2009)

2.3.7 Kelebihan Ventilasi Alami

Bangunan yang menggunakan ventilasi alami umumnya menghabiskan lebih sedikit energi dari pada yang menggunakan ventilasi mekanis. Ventilasi alami menggunakan kekuatan pendorong untuk pergerakan udara dan mengandalkan *buoyancy effect* (Elzaidabi, 2009). mengatakan setiap alat tentu memiliki kelebihan adapun kelebihan dari ventilasi alami adalah sebagai berikut:

1. Biaya operasional yang lebih murah dan dan konsumsi energi yang rendah.
2. Memanfaatkan udara bersih dan segar dari luar ruangan.
3. Biaya sedikit dalam *maintenance* dan penggantian alat.
4. Mudah dalam pemasangannya dan menggunakannya.
5. Menghasilkan kondisi ruangan yang sehat untuk kesehatan fisik.
6. Mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara.

2.3.8 Kekurangan Ventilasi Alami

Meskipun ventilasi memiliki beberapa keunggulan, namu tetap memiliki beberapa kekurangan, adapun kekurangan dari ventilasi alami ini adalah sebagai berikut :

1. Sensitif terhadap iklim dan tidak dapat digunakan pada semua iklim.
2. Tidak dapat digunakan pada semua jenis bangunan.
3. Suhu yang dihasilkan tidak dapat diatur sesuai keinginan.
4. Tidak ada jaminan untuk laju aliran udara.
5. Membutuhkan sistem kinerja yang benar oleh pengguna.

2.4 Sistem Sirkulasi Udara pada Bangunan

Sirkulasi udara sangat dibutuhkan untuk melakukan pertukaran udara yang terjadi di dalam ruangan dengan udara yang berada di luar ruangan. Sistem sirkulasi udara pada bangunan terjadi melalui ventilasi atau lubang angin. Untuk ruangan yang terletak pada bagian samping bangunan dapat menggunakan ventilasi untuk mensirkulasikan udara, sedangkan untuk ruangan yang posisinya terletak ditengah bangunan dapat menggunakan alat penangkap angin (*wind catcher*).

Cara membuat udara bisa mengalir ke dalam ruangan secara alami biasanya lubang ventilasi dibuat pada dua buah bidang dinding atau lebih karena banyaknya bidang dinding akan mempengaruhi jumlah udara yang dihasilkan, jenis ventilasi yang digunakan adalah ventilasi alami karena angin tidak di paksa masuk kedalam ruangan untuk melakukan sistem pendinginan. Perbedaan tekanan yang terdapat di bagian dalam dan diluar bangunan akan membantu udara mengalir dari ventilasi alami pada bidang dinding yang satu menuju ventilasi pada bidang dinding yang lain. Banyaknya ventilasi udara yang terdapat pada suatu bangunan (rumah) harus cukup untuk membantu proses sirkulasi udara, mengalirkan udara segar dari luar ruangan ke dalam ruangan.

Sistem yang paling baik digunakan untuk merancang sistem sirkulasi udara alami adalah dengan sistem menggunakan ventilasi silang (*cross ventilation*), pada sistem ventilasi silang sirkulasi udara diatur sedemikian rupa agar dapat mengalir dari satu titik ventilasi udara menuju titik ventilasi udara lain, dan begitu sebaliknya. Dengan terjadinya perbedaan tekanan pada bagian dalam dan diluar bangunan, maka aliran udara tidak akan 'terjebak' di dalam ruangan, yang menyebabkan ruangan terasa pengap dan panas. Cara lain yang dapat dilakukan adalah dengan membuat taman yang disertai void di dalam ruangan, taman dan void didalam ruangan akan membantu proses dari sirkulasi udara ditengah-tengah ruangan yang berjarak cukup jauh dari sisi dinding.

Salah satu cara lain yang dapat dilakukan jika penggunaan ventilasi udara dirasakan masih kurang, maka dapat dilakukan cara alternatif yaitu metode ventilasi aktif dengan cara menambahkan *exhauster* (*exhaust fan* dibagian dinding atau blower pada bagian atap) yang dengan cara bantuan energi listrik akan menyedot dan mengalirkan udara didalam ruangan keluar dari dalam ruangan, untuk dipaksa

bersirkulasi dengan udara yang lebih segar dari luar ruangan melalui lubang ventilasi.

2.5 Bilangan Reynold

Dalam mekanika fluida, bilangan Reynold adalah bilangan untuk mengidentifikasi jenis aliran fluida yaitu laminar, transisi atau turbulen turbulen. Ada tiga faktor yang mempengaruhi jenis aliran yaitu kekentalan, rapat massa zat cair, dan diameter pipa Namanya diambil dari Osborn Reynold (1842-1912) yang mengusulkannya pada tahun 1983.

$$Re = \frac{V \times D_h}{\nu} \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana:

- v = kecepatan rata-rata fluida yang mengalir (m/s)
- D_H = Diameter Hidrolik (m)
- ν = viskositas kinematis (m²/s)

Bilangan Reynold merupakan bilangan tidak berdimensi yang berfungsi untuk menentukan bentuk aliran fluida serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar. Bilangan Re yang besar menunjukkan aliran yang sangat turbulen dengan kerugian yang sebanding dengan kuadrat kecepatan. Dalam aliran laminar kerugian berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata.

2.6 Aliran Fluida

1. Aliran laminar

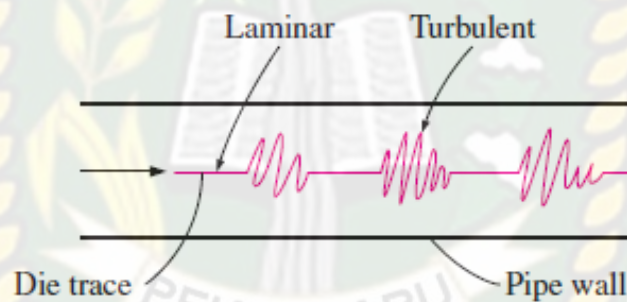
Aliran laminar adalah fluida yang bergerak dalam lapisan – lapisan, atau lamina – lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecendrungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Pada aliran laminar, tiap-tiap partikel fluida mengikuti sebuah lintasan yang mulus, disebut streamline (lajur arus). Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldsnya kurang dari 2300 ($Re < 2300$).

2. Aliran Turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian – kerugian aliran. Dimana nilai bilangan Reynoldsnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).

3. Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldsnya antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$).



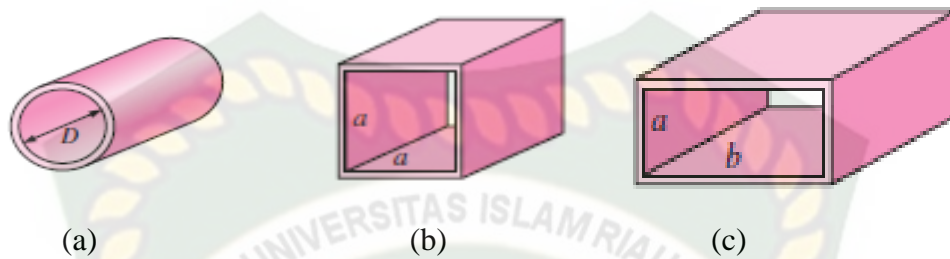
Gambar 2.21 Jenis aliran fluida

Sumber : (Cengel, 2004)

2.6.1 Laminar dan Aliran Turbulen Dalam Tabung

Aliran dalam tabung dapat bersifat laminar atau turbulen, tergantung pada kondisi aliran. Aliran fluida menjadi efisien dan dengan demikian laminar dengan kecepatan rendah, tetapi berubah menjadi turbulen saat kecepatan dinaikkan melebihi nilai kritis. Transisi dari laminar aliran turbulen tidak terjadi secara tiba-tiba; sebaliknya, ini terjadi pada beberapa kisaran kecepatan di mana aliran berfluktuasi antara laminar dan turbulen mengalir sebelum benar-benar bergolak. Kebanyakan aliran pipa ditemui dalam prakteknya sedang bergolak. Aliran laminar ditemui ketika cairan sangat kental seperti minyak mengalir dalam tabung berdiameter kecil atau saluran sempit. Untuk aliran melalui tabung non-lingkaran,

bilangan Reynolds serta bilangan Nusselt dan faktor gesekan didasarkan pada diameter hidrolis (Cengel, 2004). *Rectangular duct* merupakan saluran persegi panjang yang digunakan pada ventilasi untuk laluan masuknya angin kedalam *wind catcher* penelitian ini, dapat dilihat pada gambar 2.22.



Gambar 2.22 (a) *Circular tube* (b) *Square duct* (c) *Rectangular duct*

Sumber : (Cengel, 2004)

Mencari nilai diameter hidrolis pada aliran dalam *tube* dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$D_h = \frac{4 (\pi D^2 / 4)}{\pi D^2} \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

D = Diameter *tube*

D_h = Diameter Hidrolis (m)

Mencari nilai diameter hidrolis pada aliran *square duct* dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$D_h = \frac{4a^2}{4a} \dots\dots\dots 2.8$$

Mencari nilai diameter hidrolis pada aliran *Rectangular duct* dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$D_h = \frac{4 ab}{2 (a+b)} = \frac{2ab}{a+b} \dots\dots\dots 2.9$$

2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

2.5.1 Penjelasan Umum

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah suatu metode analisis sistem yang meliputi aliran fluida, perpindahan panas dan massa, serta fenomena lain (seperti reaksi kimia, aliran udara, aliran partikel) dengan menggunakan simulasi berbasis komputer.

CFD ini digunakan untuk melihat pergerakan udara yang mengalir di dalam *wind catcher* dengan metode *numerical*, dan memprediksi simulasi distribusi aliran udara dan suhu di dalam maupun diluar pada suatu ruangan

Keuntungan menggunakan CFD antara lain (Julianto, 2018):

1. Memberikan pemahaman rinci tentang distribusi aliran, kekurangan berat, pindah panas dan massa, pemisahan partikulat dan lain-lain sehingga dapat memberikan perencanaan rancang bangun yang lebih baik.
2. Memungkinkan untuk mengevaluasi perubahan geometrik dengan sedikit waktu dan biaya.
3. Dapat menjawab banyaknya pertanyaan “bagaimana kalau” dalam waktu singkat.
4. Mengurangi masalah peningkatan skala karena model berdasarkan dari fisika dasar dan skala yang independen.
5. Sangat berguna dalam kondisi simulasi dimana tidak mungkin untuk mengambil pengukuran inci, seperti suhu tinggi.
6. Dapat mengetahui akar penyebab bukan hanya efek saat evaluasi masalah dalam perencanaan.

2.5.2 Manfaat *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Terdapat tiga hal yang menjadi alasan kuat menggunakan CFD, yakni:

1. *Insight* - Pemahaman mendalam

Ketika melakukan desain pada sebuah sistem dan sulit untuk dibuat prototypenya atau sulit untuk dilakukan pengujian, analisis CFD memungkinkan untuk menyelipkan masuk secara virtual ke dalam alat/sistem yang akan dirancang tersebut.

2. *Foresight* - rediksi menyeluruh

CFD adalah alat untuk memperidiksi apa yang akan terjadi pada alat/sistem, dan CFD dapat mengubah-ubah kondisi batas (variasi kondisi batas).

3. *Efficiency* - Efisiensi waktu dan biaya

Foresight yang diperoleh dari CFD sangat membantu untuk mendesain lebih cepat dan hemat uang. Analisis/simulasi CFD akan memperpendek waktu riset dan desain sehingga juga akan mempercepat produk untuk sampai pasaran.

2.6 Pendinginan Pasif

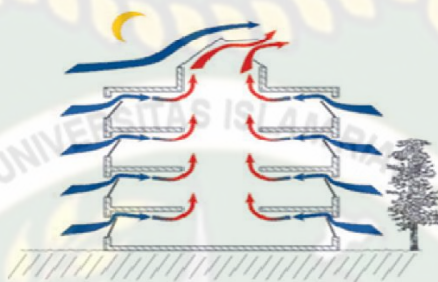
(Daghigh, 2015) Tidak seperti sistem pendingin udara, pendingin pasif dapat dianggap sebagai strategi yang layak dan menarik untuk konsep bangunan. Pendinginan pasif memberikan kenyamanan termal yang sangat baik dan kualitas udara dalam ruangan, dengan konsumsi energi yang sangat rendah.

Pendinginan pasif adalah upaya untuk mendinginkan ruangan tanpa menggunakan energi listrik atau pemanfaatan alat-alat mekanikal lainnya. Kelembaban udara yang tinggi mempersulit terjadinya penguapan di permukaan kulit yang pada akhirnya mengganggu pelepasan panas dari tubuh. Pergerakan udara akan membawa kelebihan uap air di udara yang menyebabkan kulit manusia lebih mudah melakukan penguapan sehingga dapat melepas panas dan menghasilkan kenyamanan *thermal* untuk daerah beriklim panas lembab.

Pendinginan pasif memiliki teknik-teknik yang digunakan dalam sistem pendinginan, adapapun teknik yang digunakan sebagai berikut:

- a. pendinginan dengan ventilasi yang terdiri atas *comfort ventilation* (ventilasi untuk meningkatkan evaporasi kulit penghuni sehingga meningkatkan kenyamanan termal)
- b. *night flush cooling* (ventilasi untuk mendinginkan bangunan pada malam hari agar siang harinya bangunan siap menjadi *heat sink*),
- c. *evaporative cooling* yang memanfaatkan pelepasan panas yang terjadi saat penguapan, dan
- d. *earth cooling* dimana tanah dimanfaatkan sebagai *heat sink*.

Tidak setiap teknik cocok di semua iklim. *Comfort ventilation* paling cocok diaplikasikan pada daerah beriklim tropis lembab sementara *night flush ventilation* paling cocok untuk tropis kering. *Earth cooling* tidak cocok digunakan di daerah beriklim tropis karena struktur bangunannya yang masif yang membuat pertukaran udara—yang sangat dibutuhkan untuk menunjang kenyamanan penghuni—menjadi sulit.



Gambar 2.23 jenis pengaturan pendinginan pasif
Sumber : (Elzaidabi, 2009)

2.7 Kondisi Geografis

Indonesia berada di garis khatulistiwa memiliki iklim tropis, tepatnya iklim tropis yang memiliki musim panas dan hujan dan memiliki suhu antara 28 – 38 °C pada musim kemarau dan 25 – 29° C pada saat musim hujan. Kelembaban yang terjadi pada musim kemarau sekitar 40%-70% sedangkan kelembaban pada saat musim hujan sekitar 80%-100%. Hal ini dipengaruhi juga oleh bentuk Negara Indonesia yang merupakan Negara kepulauan. Sebagian besar tanah daratan di Indonesia dikelilingi oleh lautan dan samudra.

Kecepatan angin di Indonesia sangat beragam tergantung dari jenis tempat atau lokasinya, terutama pada daerah tepian pantai yang memiliki kecepatan angin yang berasal dari angin laut yang mengarah ke daratan, namun berbeda dengan tempat yang jauh dari tepian pantai dan padat oleh bangunan mengakibatkan angin terhalang oleh bangunan-bangunan.

Pada Negara di Timur Tengah memiliki iklim sebagian besar adalah panas dan kering, akan tetapi beberapa kawasan juga masih mendapat curah hujan. Yang dimana penduduk pada Negara tersebut memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti angin dengan cara menambahkan *wind catcher* pada bagian atap bangunan

karena pada tiap-tiap ketinggian kelajuan angin akan berbeda dan bertujuan untuk memasukkan angin ke dalam sebagai pendingin ruangan.

Jika di bandingkan dengan Indonesia memiliki kesamaan pada jenis iklim yaitu musim panas dan hujan. Oleh karena itu penggunaan *wind catcher* sangat memungkinkan digunakan pada daerah-daerah yang berada di Indonesia salah satunya adalah Pekanbaru.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir bertujuan untuk mempermudah dalam pelaksanaan proses penelitian. Dimana proses-proses tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan studi untuk mengumpulkan bahan-bahan referensi yang diperlukan dan berhubungan dengan masalah-masalah yang akan dibahas dalam penelitian. Studi ini dilakukan dengan mempelajari dan mengkaji penelitian-penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan *wind catcher* sebagai sistim pendinginan pasif untuk ruangan. Studi literatur biasa didapat dari berbagai sumber, jurnal, buku dan skripsi. Studi literatur digunakan dalam pembahasan masalah sebagai acuan untuk ketahap penelitian .

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

3.3.1 Tinggi Wilayah Bukit Raya

Kecamatan Bukit Raya merupakan salah satu kecamatan di wilayah Kota Pekanbaru, Luas wilayah Kecamatan Bukit Raya adalah 23,10 km². Tinggi wilayah di daerah Kecamatan Pekanbaru dapat dilihat pada table 3.1 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Tinggi Wilayah (mdpl) Kecamatan Pekanbaru (Kementerian Dalam Negeri, 2019)

Kecamatan	Tinggi Wilayah (mdpl)
Tampan	34
Payung Sekaki	13,57
Bukit Raya	27,04
Marpoyan Damai	26,06
Tenayan Raya	43
Sail	27,20
Pekanbaru Kota	19,80
Sukajadi	20,40
Senapelan	18,50
Rumbai	34,89
Rumbai Pesisir	18,50

3.3.2 Lokasi Penelitian

Adapun tempat melakukan penelitian ini adalah di atas bangunan gedung C, Fakultas Teknik Universitas Islam Riau yang beralamat di Jl. Kaharuddin Nasution No.133, Marpoyan, Pekanbaru dapat dilihat pada Gambar 3.2. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung selama satu bulan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini. Gedung lokasi penelitian berada di bukit raya memiliki ketinggian dari permukaan laut yaitu 27,04 mdpl, tinggi bangunan yaitu 12 meter dan tinggi *wind catcher* dari permukaan datum adalah 4 meter, dan 16 meter dari permukaan lantai dasar bangunan.



Gambar 3.2 *workshop* Fakultas Teknik

3.4 Alat dan Bahan

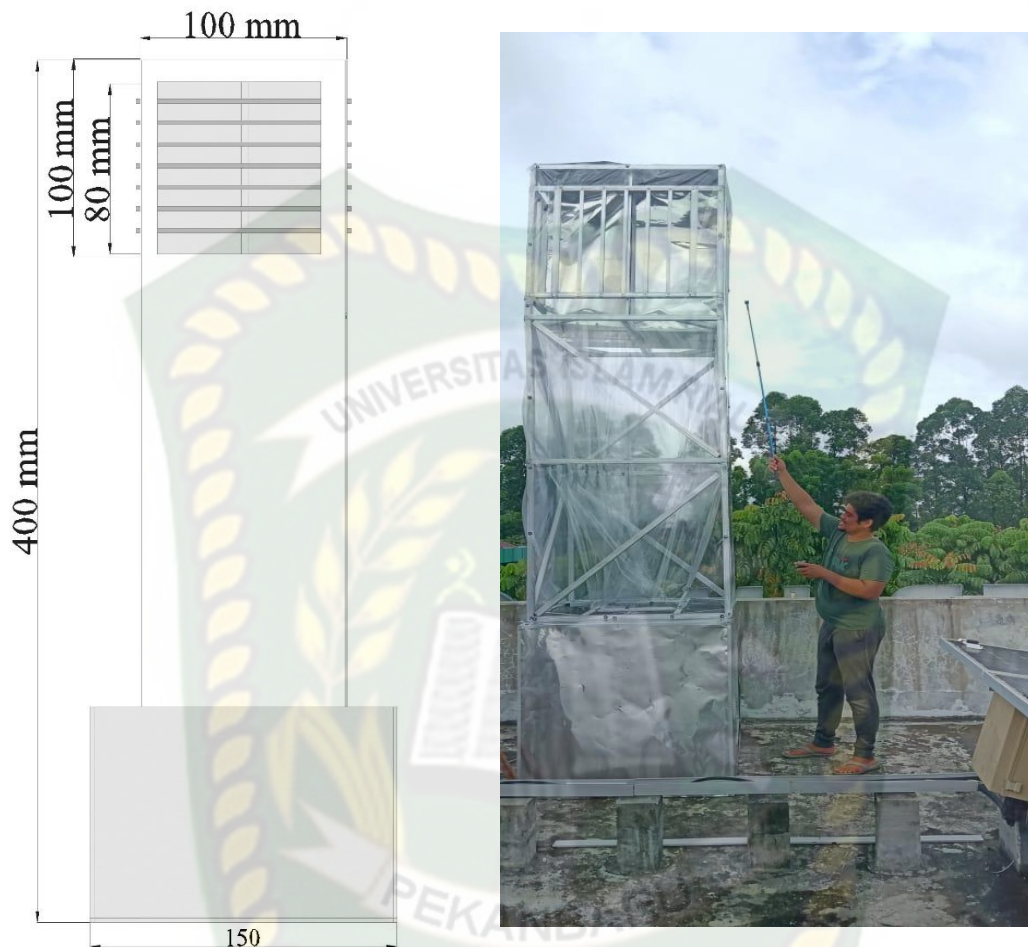
3.4.1 Alat

Adapun Alat dan Bahan yang digunakan untuk menunjang penelitian ini adalah sebagai berikut:

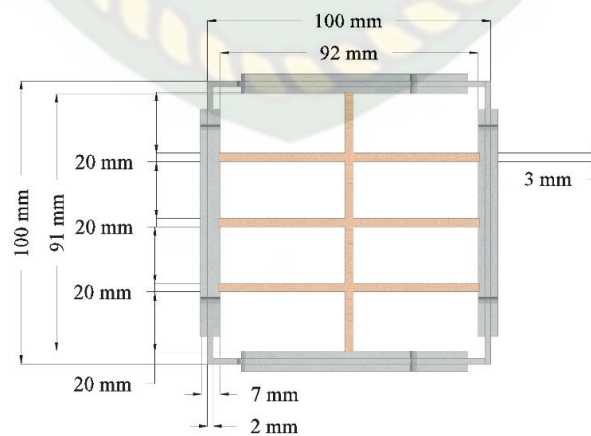
1. Alat penangkap angin (*Wind Catcher*)

Digunakan sebagai komponen utama yang berguna untuk menangkap angin melalui ventilasi yang berada di atas dan akan memanfaatkan anginnya tersebut. Dimensi dari *wind catcher* adalah dapat dilihat pada gambar 3.3

dengan menggunakan satuan mm. tinggi dari *wind catcher* adalah 4 meter dari ketinggian datum dan 16 meter dari permukaan lantai dasar bangunan.



Gambar 3.3 *Wind Catcher*



Gambar 3.4 *Wind Catcher* Tampak Atas

2. Anemometer

Anemometer sebagai alat yang bertujuan untuk mengukur kecepatan angin pada bagian *windward* dan angin yang dihasilkan pada ventilasi sebagai laluan aliran udara pada *wind Catcher*. Digunakan pada *wind catcher* untuk melihat kecepatan angin di daerah sekitar sebelum angin masuk kedalam ruangan melalui *wind catcher*, Diletakkan pada bagian bukaan atau ventilasi tempat masuknya angin dari luar dan diletakkan pada bagian bawah laluan masuknya udara kedalam ruangan. *Anemometer* mengukur kecepatan angin dalam satuan m/s.



Gambar 3.5 Anemometer

3. Termometer Digital

Termometer adalah alat pengukuran yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi suhu, metode pengukuran suhu yang cepat, tepat dan akurat dengan situasi yang ideal dimana objek bergerak cepat, Dapat mendeteksi suhu mulai dari -39°C sampai dengan 37°C . pada penelitian ini digunakan untuk mengukur suhu udara udara pada bagian *windward* dan angin yang dihasilkan pada bagian bawah *wind Catcher* tempat masuknya angin kedalam ruangan.



Gambar 3.6 Termometer Digital

4. *Hygrometer*

Hygrometer adalah alat untuk menentukan kelembaban atmosfer yang mana dapat menunjukkan kelembaban yang relatif. digunakan Sebagai alat untuk mengukur kelembaban udara yang dihasilkan dari alat penangkap angin yang diletakkan pada tiap-tiap meter, dan akan menunjukkan data *relative humidity* (RH) yang akan dinyatakan dalam persentase (%).



Gambar 3.7 *Hygrometer*

5. *Pyranometer*

Pyranometer adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengukur radiasi sinar matahari pada bidang datar. *Pyranometer* mempunyai sensor yang dapat mengukur densitas radiasi sinar matahari dalam satuan W/m^2 .



Gambar 3.8 *Pyranometer*

3.4.2 Bahan

Adapun Bahan yang / yang digunakan untuk penunjang penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Baja Ringan.

Digunakan sebagai partisi kedua atau sebagai tiang struktur dari *wind catcher* sesuai dengan tinggi dan besar yang telah ditentukan pada proses perancangan.



Gambar 3.9 Baja Ringan

2. Baut

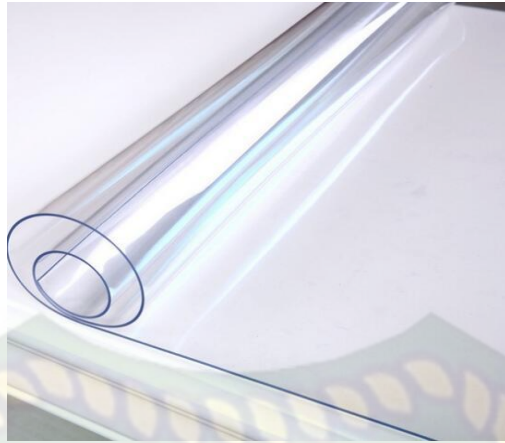
Baut sebuah alat sambung dengan menggunakan besi batang bulat dan berulir, digunakan sebagai *assembly* agar semua konstruksi dapat tersambung dengan sambungan tetap, sambungan bergerak dan sambungan sementara yang dapat diubah, dibongkar atau dilepas.



Gambar 3.10 Baut

3. Cover Plastik

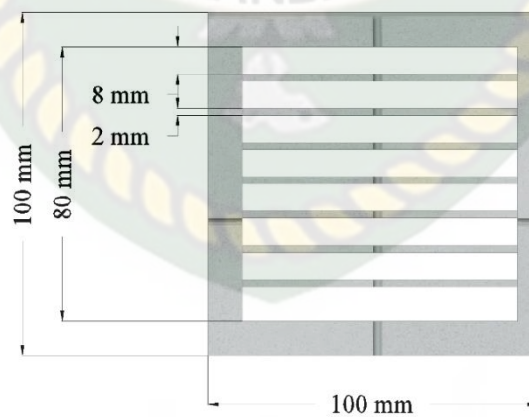
Cover plastik digunakan sebagai pelindung dari udara dan panas dari sinar matahari serta menambah estetika dari *wind catcher*.



Gambar 3.11 Cover Plastik

4. Ventilasi

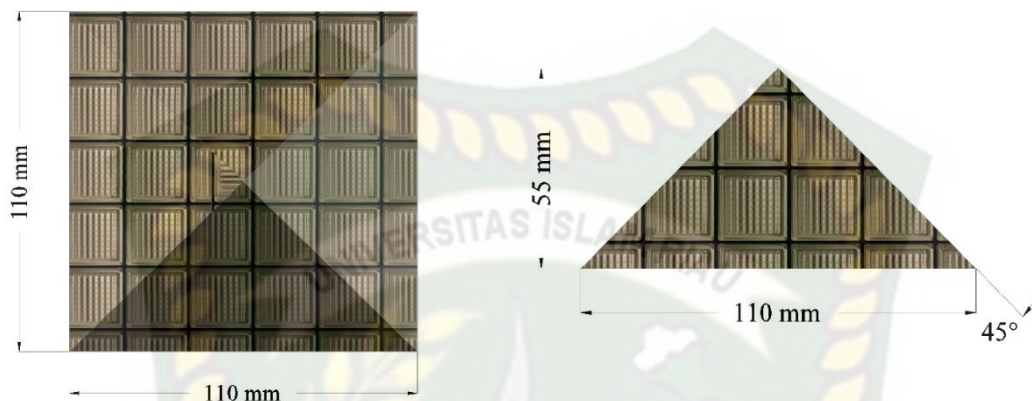
Ventilasi untuk mengalirkan udara dari luar ke dalam ruangan, sehingga terjadi pergantian udara di dalam ruangan. ventilasi juga menjadi saluran keluar udara jenuh dari dalam rumah. Ventilasi pada *wind catcher* digunakan untuk menangkap angin lalu masukkan ke dalam ruangan dan sebagai laluan keluar dan masuknya angin dari dalam ruangan. Dengan dimensi ventilasi dapat dilihat pada gambar 3.12 dengan menggunakan satuan mm.



Gambar 3.12 Ventilasi

5. Atap *wind catcher*.

Atap digunakan sebagai pelindung utama pada *wind catcher* dari curah hujan, panas matahari agar tidak masuk kedalam *wind catcher* dan bangunan yang akan dipasangkan alat ini. Dengan dimensi atap dapat dilihat pada gambar 3.32 dengan menggunakan satuan mm.



Gambar 3.13 Atap *Wind Catcher*

3.5 Metode Pengujian

Pada *wind catcher* memiliki beberapa tahapan dalam pembuatannya dan menggunakan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam proses pembuatan alat. Alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah anemometer, termometer, *hygrometer* dan *pyranometer*. Sedangkan bahan yang akan digunakan antara lain adalah baja ringan, baut, *cover* plastik dan ventilasi.

Proses selanjutnya adalah tahap pembuatan alat, langkah pertama yang dilakukan adalah membuat kerangka dari *wind catcher* dengan ketinggian 6 meter dengan menggunakan bahan dari baja ringan dan baut sebagai *assembly* agar semua konstruksi dapat tersambung. *Wind catcher* yang akan dibuat adalah persegi dengan menggunakan ventilasi empat sisi.

Proses selanjutnya yang dilakukan setelah kerangka dari *wind catcher* selesai adalah pemasangan ventilasi dengan bentuk sirip vertikal yang dapat dilihat pada gambar 3.11. Kegunaan dari ventilasi sebagai laluan masuk dan keluarnya angin dari dalam ruangan dan kegunaan lainnya adalah menambah estetika dari bentuk *wind catcher*.

Proses selanjutnya adalah *finishing* yaitu pemasangan *cover* dari plastik bening yang berguna sebagai pelindung dari udara dan panas sinar matahari serta menambah estetika dari *wind catcher*. Cover dipasangkan pada tiap-tiap sisi *wind catcher* agar terlindungi dan di lanjutkan dengan pemasangan atap sebagai pelindung dari curah hujan agar tidak masuk kedalam *wind catcher*.

Pengambilan data yang ingin dicapai pada penelitian ini ada berbagai jenis mulai dari suhu, kelembaban dan kecepatan angin yang dihasilkan dari alat tersebut dengan menggunakan alat yang telah dipersiapkan yaitu termometer, anemometer, *hygrometer* dan *pyranometer*.

Pemasangan alat untuk mengukur suhu di pasang pada tiap-tiap 2 m dari ketinggian *wind catcher*. Sebelum melakukan pengambilan data sebaiknya mengukur suhu di luar ruangan sebagai perbandingan suhu yang masuk ke dalam ruangan

Penggunaan anemomter dengan cara mengarahkan ke beberapa tempat pada *wind catcher* yaitu yang pertama pada bagian atas atau pada ventilasi masuknya angin, kedua pada bagian tengah alat dan yang terakhir pada bagian bawah tempat masuknya angin kedalam ruangnya yang bertujuan untuk melihat kecepatan angin yang dihasilkan dan kestabilan angin yang masuk kedalam ruangan.

Pengambilan data kelembaban udara yang dihasilkan dengan cara menggunakan *hygrometer* yang di letakkan pada bagian bawah *wind catcher* tempat aliran angin masuk kedalam ruangan dan akan menampilkan data *relative humidity* (RH) yang akan dinyatakan dalam persentase (%).

Pengambilan data intensitas cahaya matahari pada setiap menit dengan menggunakan alat *pyranometer* dan dinyatakan dalam W/m^2 . Tujuan di ambil data intensitas cahaya matahari untuk melihat apakah terdapat pengaruh pada tiap-tiap parameter seperti kecepatan angin, temperatur ruangan dan kelembaban didalam ruangan.

Apabila semua data sudah didapatkan dan dicatat selanjutnya dilakukan simulasi dengan metode *numerical* berbasis computer menggunakan CFD Ansys Fluen untuk memprediksi distribusi aliran udara dan suhu di dalam maupun diluar pada suatu ruangan dan melihat jenis aliran angin yang dihasilkan.

3.6 Jadwal Kegiatan Penelitian

Agar penelitian tentang studi pemanfaatan energi terbarukan berbentuk *wind catcher* untuk pendinginan pasif melalui ventilasi alami berjalan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti tabel jadwal kegiatan penelitian, Adapun jadwal kegiatan dari penelitian dapat dilihat pada tabel 3.2 di bawah ini.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Gedung C Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Proses pengambilan data dilakukan pukul 09.00 – 15.00 wib, Pengujian ini dilakukan secara berulang setiap 15 menit sekali dalam tiap jam untuk mendapatkan hasil rata-rata dari pengujian tersebut.

Pengambilan data penelitian ini dilakukan dengan cara mengukur temperatur angin, kecepatan angin disekitar, kecepatan aliran angin masuk kedalam ruangan lalu keluar melalui *wind catcher*, mengukur kelembaban yang dihasilkan dan mengukur intensitas cahaya matahari. Alat untuk mengukur temperatur menggunakan *thermometer*, mengukur kecepatan angin menggunakan *anemometer*, alat untuk mengukur kelembaban menggunakan *Hygrometer* dan untuk mengukur intensitas cahaya matahari menggunakan *pyranometer*. Dari semua alat ukur yang digunakan sangat berguna dalam menentukan nilai parameter yang dibutuhkan dalam pengolahan data.

Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1 sampai 4.7 adalah nilai hasil dari rata-rata pengambilan data setiap jam. Adapun data hasil pengujian yang didapatkan saat pengambilan data dengan menggunakan *wind catcher* antara lain adalah sebagai berikut:

Dimana :

V_{Surr}	: Kecepatan angin di sekitar (m/s)
V_{wd}	: Kecepatan angin masuk melalui ventilasi (m/s)
V_r	: Kecepatan angin masuk ke ruangan (m/s)
T_{surr}	: Temperatur angin di sekitar ($^{\circ}C$)
T_{wd}	: Temperatur angin masuk melalui ventilasi ($^{\circ}C$)
T_r	: Temperatur angin masuk ke ruangan ($^{\circ}C$)

Tabel 4.1 Data hasil Pengujian pada hari pertama 04 januari 2021

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)			Temperatur Udara (°C)			Kelembaban RH (%)	Intensitas Cahaya Matahari (W/m ²)	Arah Angin	Cuaca
	V _{surr}	V _{wd}	V _r	T _{surr}	T _{wd}	T _r				
09.00	1,3	0,82	0,52	29,4	32,2	30,1	52	286,4	Dominan Utara	Cerah Berawan
10.00	1,2	0,7	0,4	33	35,5	31,4	51,2	347,5	Dominan Barat	Cerah Berawan
11.00	2,1	1,5	1,25	35,3	38,8	34,3	36,8	724,4	Dominan Timur	Panas Terik
12.00	2,2	1,67	1,12	32,8	36,7	32,2	39,5	398,82	Dominan Barat	Cerah Terik
13.00	1,5	1	0,7	32,9	35,6	31,1	40,4	352,72	Dominan Barat	Cerah Berawan
14.00	1,57	1,1	0,77	32,5	35	30,9	41,25	311,55	Dominan Timur	Cerah Berawan
15.00	1,1	0,72	0,5	32	33,5	29,6	42,6	253,3	Dominan Selatan	Berawan

Tabel 4.1 data hasil pengujian pada hari pertama yang dilakukan setiap 15 menit sekali dalam setiap jam, didapatkan kecepatan angin, temperatur ruangan, kelembaban, intensitas cahaya matahari, arah angin serta cuaca yang bervariasi dalam setiap jamnya. Tabel data selanjutnya akan ditampilkan pada lampiran.

4.2 Hasil dan Pembahasan dengan metode *experimental* dan *numerical*

Hasil perhitungan digunakan untuk melihat distribusi kecepatan angin yang masuk kedalam *wind catcher*, dengan menggunakan persamaan untuk menghitung laju aliran volume udara melalui ventilasi, menghitung nilai *air change per hour* (ACH), menghitung laju aliran udara masuk kedalam ruang bangunan, Panjang maksimum ventilasi *single side*. Adapun perhitungan dari penelitian ini adalah sebagai berikut yaitu :

4.2.1 Parameter yang digunakan dalam penelitian

Adapun parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini demi memudahkan proses analisa pembahasan baik secara *experimental* maupun *numerical*, parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Diketahui:

- Q_r = Laju aliran volume masuk kedalam ruangan (m^3/s)
- C_v = Efektifitas bukaan (0,25)
- A = Luas bukaan inlet
 $= L \times W = 0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$
 $= (0,64 \text{ m}^2)$
- N = Jumlah *Air Change per Hour* (ACH)
- V = Volume Ruangan ($1,5 \text{ m}^3$)
- V_{surr} = Kecepatan angin sekitar (m/s)
- V_{vent} = Laju aliran volume udara melalui ventilasi (m^3/s)
- W = Lebar maksimum (m)
- C = Rasio luas bukaan (1,5 m)
- H = Tinggi ruangan (1 m)

4.2.2 Analisa pembahasan data hasil penelitian secara *experimental* yang dilakukan tiap jam.

Analisa data hasil penelitian yang dilakukan pada tiap-tiap jam dimulai dari jam 09.00 – 15.00 adalah sebagai berikut:

1. Pembahasan data hasil pengujian pada jam 09.00 Wib.

a. Perhitungan laju aliran udara masuk kedalam ruangan

$$\begin{aligned} Q_r &= C_v \times A \times v_{surr} \\ &= 0,25 \times 0,64 \text{ m}^2 \times 1,3 \text{ m/s} \\ &= 0,208 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

b. Perhitungan mencari nilai ACH

$$\begin{aligned} N &= 60 \times (Q/V) \\ &= 60 \times (0,208 \text{ m}^3/\text{s} / 1,5 \text{ m}^3) \\ &= 8,32 \text{ ACH (jumlah pergantian seluruh udara didalam ruangan dengan udara segar dari luar setiap jam)} \end{aligned}$$

c. Laju aliran volume udara melalui ventilasi *wind catcher*

$$\begin{aligned} V_{vent} &= \frac{v \times \text{ACH} \times 1000}{3600} \\ &= \frac{1,5 \text{ m}^3 \times 8,32 \times 1000}{3600} \\ &= 3,46 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

d. Menghitung bilangan *Reynolds* pada angin masuk melalui ventilasi

$$\begin{aligned} Re &= \frac{v \times D_h}{\nu} \\ &= \frac{0,8 \text{ m/s} \times 0,145 \text{ m} \times 10^5}{1,62244 \text{ m}^2/\text{s}} \\ &= 7328,4 \end{aligned}$$

Jadi, jenis aliran angin yang masuk kedalam *wind catcher* melau ventilasi adalah laminar dikarenakan nilainya $7328 < 4000$.

- e. Lebar ruangan maksimum untuk *single side* merujuk pada gambar 2.17 halaman 27.

$$\begin{aligned} W &= 2,5 \times c \times H \\ &= 2,5 \times 1,5 \times 1 \text{ m} \\ &= 3,75 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan nilai laju aliran udara, jumlah *air change per hour*, laju aliran volume dan Panjang ruangan maksimum untuk ventilasi silang dibuat dalam bentuk tabel agar lebih mudah dalam menganalisa hasil yang didapatkan dan dapat dilihat pada tabel 4.8 dibawah ini dan tabel hasil 4.9 sampai 4.14 dapat dilihat pada lembar lampiran.

Tabel 4.8 Data hasil analisa perhitungan pada hari pertama 04 Januari 2021

Waktu	Q_{vent} (m^3/s)	Q (m^3/s)	ACH	Re
09.00	3,46	0,208	8,32	7328,4
10.00	3,2	0,192	7,68	6148,9
11.00	5,6	0,336	13,44	12879,7
12.00	5,86	0,352	14,08	14502,6
13.00	4	0,24	9,6	8733,8
14.00	4,18	0,251	10,04	9662,5
15.00	2,93	0,176	7,04	6360,8

Tabel 4.8 adalah data hasil analisa perhitungan hari pertama 04 Januari 2021 merupakan nilai dari rata-rata pengambilan data yang dilakukan setiap 15 menit sekali dalam setiap jam. Laju aliran volume melalui ventilasi, laju aliran volume masuk kedalam ruangan dan ACH yang bervariasi dan nilai tertinggi laju aliran

volume melalui ventilasi pada pukul 12.00 dengan nilai $5,86 \text{ m}^3/\text{s}$, nilai laju aliran volume masuk kedalam ruangan $0,352 \text{ m}^3/\text{s}$ dan nilai ACH 14.08. Disimpulkan bahwa nilai laju aliran volume melalui ventilasi berbanding lurus dengan nilai laju aliran volume masuk ke dalam ruangan dan nilai ACH. Tabel data selanjutnya akan ditampilkan pada lembar lampiran.

4.2.3 Hasil Parameter untuk pengkondisian pada ruangan dari data penelitian.

Adapun parameter-parameter yang didapatkan untuk pengkondisian suasana nyaman di dalam ruangan dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 4.15 hasil parameter pengkondisian untuk ruangan pada hari pertama

Waktu	V_r	T_r	Kelembaban RH (%)	I_r (W/m^2)	Q_r	ACH
09.00	0,52	30,1	52	286,4	0,208	8,32
10.00	0,4	31,4	51,2	347,5	0,192	7,68
11.00	1,25	34,3	36,8	724,4	0,336	13,44
12.00	1,12	32,2	39,5	398,82	0,352	14,08
13.00	0,7	31,1	40,4	352,72	0,24	9,6
14.00	0,77	30,9	41,25	311,55	0,251	10,04
15.00	0,5	29,6	42,6	253,3	0,176	7,04

Tabel 4.15 adalah data hasil analisa pada hari pertama 04 Januari 2021 merupakan nilai dari rata-rata pengambilan data yang dilakukan setiap 15 menit sekali dalam setiap jam untuk pengkondisian angin kedalam ruangan untuk mendapatkan kenyamanan di ruangan. Tabel hasil 4.16 sampai dengan 4.22 dapat dilihat pada lembar lampiran.

4.3 Analisa Grafik

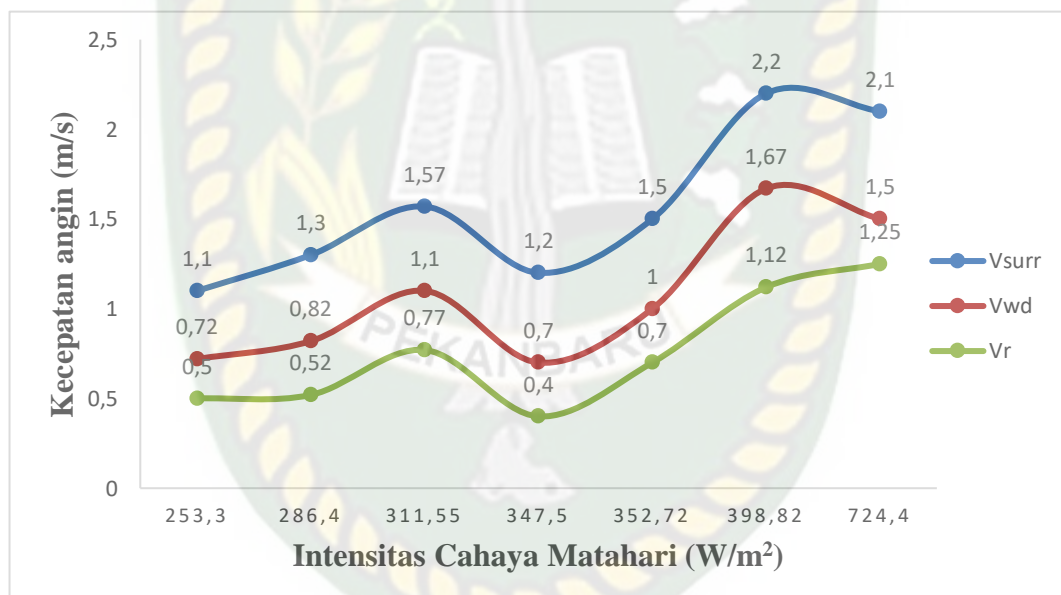
Semua data hasil pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan dari hari pertama sampai dengan hari ketujuh sehingga didapatkan berbagai parameter yang diinginkan, kemudian dibuat dalam bentuk grafik untuk tiap-tiap parameternya.

4.4.1 Grafik data hasil penelitian pada pengujian hari pertama 04 Januari 2021

Berikut grafik dari tabel hasil penelitian pada pengujian hari pertama adalah sebagai berikut:

- Grafik hubungan kecepatan angin sekitar, kecepatan angin yang masuk melalui *windward* dan ke ruangan terhadap intensitas cahaya matahari.

Bentuk grafik dari hubungan antara kecepatan angin yang masuk melalui *windward* dan ke ruangan terhadap intensitas cahaya matahari mulai pukul 09.00 – 15.00 wib adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik hubungan kecepatan angin terhadap intensitas cahaya matahari hari pertama 04 Januari 2021

Pada gambar 4.1 adalah grafik hubungan kecepatan angin terhadap intensitas cahaya matahari hari. Terdapat tiga indikator warna yang digunakan untuk menyimbolkan parameter yang ada pada grafik, warna biru digunakan untuk menandakan kecepatan angin sekitar, warna merah menandakan kecepatan angin yang masuk melalui *windward*, warna hijau menandakan angin yang masuk ke dalam ruangan. Kecepatan angin dan intensitas cahaya matahari pada setiap jam

berbeda-beda dikarenakan mengalami peristiwa naik dan turun yang disebabkan faktor cuaca yang tidak menentu.

Grafik memperlihatkan kecepatan angin sekitar tertinggi pada pukul 12.00 yaitu 2,2 m/s lalu kecepatan angin yang masuk melalui *windward* yaitu 1,67 m/s dan masuk ke dalam ruangan dengan kecepatan angin 1,12 m/s, dengan intensitas cahaya matahari 398,82 W/m² keadaan cuaca cerah arah angin dominan barat. Sedangkan kecepatan angin terendah pada pukul 15.00 dengan nilai 1,1 m/s lalu kecepatan angin yang masuk melalui *windward* 0,7 m/s dan masuk ke dalam ruangan dengan kecepatan angin 0,4 m/s, dengan keadaan cuaca cerah berawan arah angin dominan barat dan intensitas cahaya matahari 253,3 W/m².

Pada saat intensitas cahaya matahari tertinggi pada pukul 11.00 dengan nilai 724,4 W/m² dengan keadaan cuaca panas terik arah angin dominan timur menghasilkan kecepatan angin sekitar yaitu 2,1 m/s lalu masuk melalui *windward* dengan nilai 1,5 m/s lalu masuk ke dalam ruangan dengan kecepatan angin bernilai 1,25 m/s.

Disimpulkan bahwa intensitas cahaya matahari tidak berbanding lurus dengan kecepatan angin yaitu angin sekitar *wind catcher* masuk melalui *windward* lalu diteruskan ke dalam ruangan. Kecepatan angin terjadi karena terdapat perbedaan tekanan pada suatu tempat dan tidak bergantung pada intensitas cahaya matahari, sebagai contoh pada waktu malam hari terdapat angin yang berhembus dengan kecepatan bervariasi.

- b. Grafik hubungan laju aliran volume udara melalui ventilasi terhadap kecepatan angin pada penelitian hari pertama.

Bentuk grafik hubungan laju aliran volume udara melalui ventilasi terhadap kecepatan angin penelitian hari pertama 04 januari 2021 mulai pukul 09.00–15.00 wib adalah sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik hubungan laju aliran volume udara melalui ventilasi terhadap kecepatan angin penelitian hari pertama 04 Januari 2021

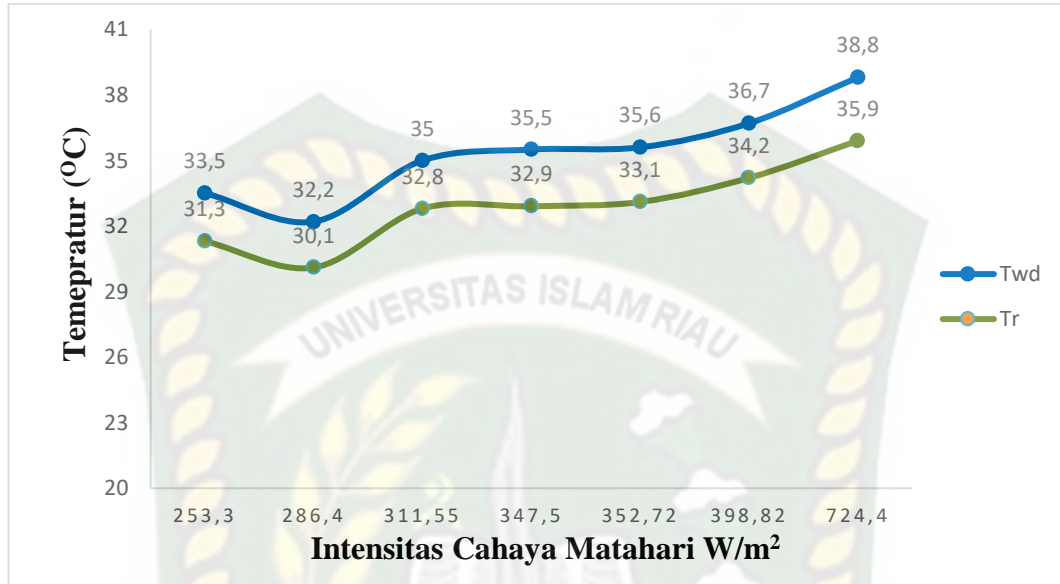
Pada gambar 4.2 adalah grafik hubungan laju aliran volume terhadap kecepatan angin penelitian hari pertama, terdapat indikator warna yang digunakan untuk menyimbolkan parameter yang ada pada grafik. Warna hijau menandakan laju aliran volume udara masuk melalui ventilasi, laju aliran volume dan kecepatan angin pada setiap jam berbeda-beda dikarenakan mengalami peristiwa naik dan turun yang disebabkan oleh faktor cuaca yang tidak menentu.

Grafik memperlihatkan bahwa laju aliran volume tertinggi pada pukul 13.00 yaitu 5,87 m³/s dengan kecepatan angin 2,2 m/s dan keadaan cuaca cerah berawan dengan angin dominan barat. Sedangkan laju aliran volume terendah pada pukul 15.00 yaitu 2,93 m³/s dengan kecepatan angin 1,1 m/s dan keadaan cuaca cerah berawan dengan angin dominan selatan, laju aliran volume pada grafik terus naik bersamaan dengan nilai kecepatan angin yang tinggi.

Disimpulkan bahwa kecepatan angin sekitar berbanding lurus terhadap laju aliran volume masuk melalui ventilasi, Semakin tinggi kecepatan angin akan menghasilkan laju aliran volume yang tinggi.

- c. Grafik hubungan temperatur udara terhadap intensitas cahaya matahari.

Bentuk grafik dari hubungan antara temperatur pada bagian *windward* dan temperatur di dalam ruangan terhadap intensitas cahaya matahari hari pertama 04 januari 2021 dimulai pukul 09.00 – 15.00 wib adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Grafik hubungan intensitas cahaya matahari terhadap temperatur udara hari pertama tanggal 04 Januari 2021

Pada gambar 4.3 adalah grafik hubungan intensitas cahaya matahari terhadap temperatur udara. terdapat dua indikator warna yang digunakan untuk menyimbolkan dari parameter yang ada pada grafik, Warna biru digunakan untuk menandakan temperatur udara yang masuk melalui *windward*, warna hijau menandakan temperatur dalam ruangan. Temperatur udara pada setiap jam berbeda-beda mengalami peristiwa naik dan turun yang disebabkan oleh faktor cuaca yang tidak menentu.

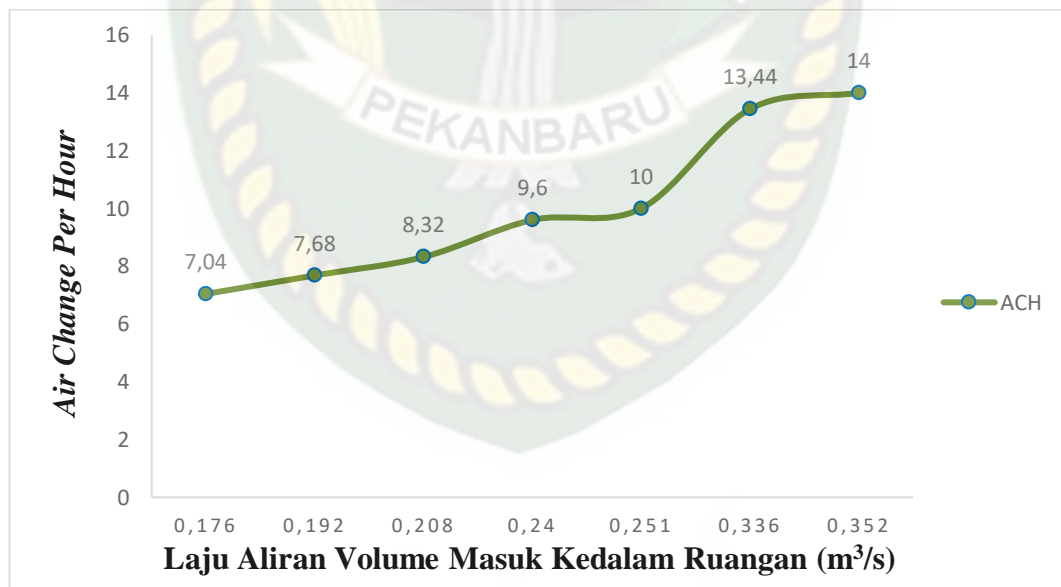
Grafik memperlihatkan bahwa temperatur tertinggi pada bagian *windward* pada pukul 11.00 yaitu 38,8°C dan temperatur ruangan menjadi 34,3°C dengan intensitas cahaya matahari 724,4 W/m² keadaan cuaca panas terik dan arah angin dominan timur. Sedangkan pada pukul 09.00 menjadi nilai temperatur terendah pada bagian *windward* yaitu 32,2°C dan temperatur ruangan menjadi 28,1°C dengan intensitas cahaya matahari 286,4 W/m² keadaan cuaca cerah berwan dan arah angin dominan utara.

Dalam keadaan sebaliknya pada saat intensitas cahaya matahari terendah yaitu dengan nilai $253,3 \text{ W/m}^2$ pada pukul 15.00 dengan keadaan cuaca berawan arah angin dominan timur menghasilkan temperatur pada bagian *windward* yaitu $33,5^\circ\text{C}$ dan temperatur ruangan menjadi $38,75^\circ\text{C}$, temperatur masih tinggi dikarenakan masih ada sisa panas yang di sebabkan oleh intensitas cahaya matahari yang tersimpan dari jam-jam sebelumnya.

Disimpulkan bahwa intensitas cahaya matahari berbanding lurus dengan temperatur udara sekitar *wind catcher*, temperatur *windward* dan temperatur ruangan yang dihasilkan, karena semakin tinggi intensitas cahaya matahari menyebabkan temperatur meningkat dan temperatur udara akan mengalami penurunan seiring dengan mendekati waktu pada malam hari.

- d. Grafik hubungan *air change per hour* terhadap laju aliran volume masuk ke dalam ruangan pada penelitian hari pertama.

Bentuk Grafik hubungan *air change per hour* (ACH) terhadap laju aliran volume masuk ke dalam ruangan pada penelitian hari pertama 04 Januari 2021 mulai pukul 09.00 – 15.00 wib adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Grafik hubungan *air change per hour* terhadap laju aliran Volume udara penelitian hari pertama 04 Januari 2021

Pada gambar 4.4 adalah grafik hubungan *air change per hour* terhadap laju aliran udara dari rata-rata tiap jam pada hari pertama, Terdapat indikator warna

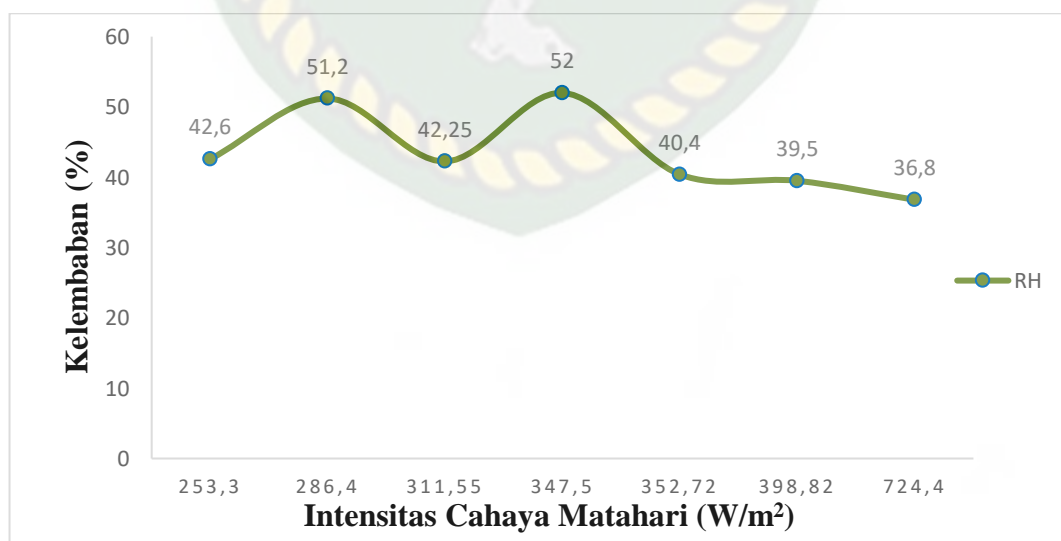
yang digunakan untuk menyimbolkan parameter yang ada pada grafik. warna hijau digunakan untuk menandakan *air change per hour* (ACH). Nilai ACH dan laju aliran udara masuk ke dalam ruang bangunan pada setiap jam berbeda-beda dikarenakan mengalami peristiwa naik dan turun yang disebabkan oleh faktor cuaca.

Grafik memperlihatkan bahwa jumlah ACH terendah pada pukul 15.00 yaitu 7,04 dengan laju aliran udara $0,176 \text{ m}^3/\text{s}$ keadaan cuaca berawan dan angin dominan selatan. Grafik nilai ACH terus mengalami kenaikan bersamaan dengan laju aliran udara yang besar. Nilai tertinggi dari ACH terdapat pada pukul 14.00 yaitu 14,04 dengan laju aliran udara $0,2512 \text{ m}^3/\text{s}$ keadaan cuaca cerah terik dan angin dominan barat.

Disimpulkan bahwa semakin tinggi laju aliran udara masuk ke dalam ruangan akan menghasilkan jumlah ACH yang tinggi. Artinya jumlah ACH berbanding lurus dengan laju aliran udara. Perbedaan kenaikan dan penurunan grafik pada hari penelitian disebabkan oleh keadaan cuaca seperti keadaan panas dan keadaan cuaca mendung yang tidak menentu.

e. Grafik hubungan kelembaban udara terhadap intensitas cahaya matahari

Bentuk grafik dari hubungan antara kelembaban udara yang dihasilkan terhadap intensitas cahaya matahari hari pertama 04 januari 2021 mulai pukul 09.00 – 15.00 wib adalah sebagai berikut :



Gambar 4.5 Grafik hubungan kelembaban udara terhadap intensitas cahaya matahari hari pertama 04 januari 2021

Pada gambar 4.5 adalah grafik hubungan kelembaban udara terhadap intensitas cahaya matahari, terdapat satu indikator warna yang digunakan untuk menyimbolkan dari parameter yang ada pada grafik. Warna hijau menandakan kelembaban udara di dalam ruangan yang dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari.

Grafik memperlihatkan bahwa pada saat nilai intensitas cahaya matahari rendah pukul 09.00 wib dengan nilai $286,4 \text{ W/m}^2$ keadaan cuaca cerah berawan menyebabkan kelembaban udara menjadi tinggi yaitu 52% yang dapat dilihat pada *hygrometer* menunjukkan angka 52%, bahwa dalam 100 bagian udara terdapat 52 bagian uap air di dalamnya. Semakin besar angka persentasenya maka kelembabannya semakin tinggi.

Kelembaban udara di ruangan pada saat intensitas cahaya matahari mencapai nilai $724,4 \text{ W/m}^2$ pada pukul 11.00 menyebabkan nilai kelembaban udara menjadi 36,8% bahwa dalam 100 bagian udara terdapat 36,8 bagian uap air di dalamnya dengan cuaca panas terik menyebabkan udara menjadi terasa kering dan panas.

Dalam keadaan sebaliknya pada pukul 15.00 wib intensitas cahaya matahari nilainya rendah dengan nilai $253,3 \text{ W/m}^2$ keadaan cuaca berawan mengakibatkan kelembaban udara menjadi naik dengan nilai 42,6% yang artinya dalam 100 bagian udara terdapat 42,6 bagian uap air di dalamnya. Intensitas cahaya matahari akan semakin menurun seiring dengan mendekati waktu terbenamnya matahari dan mempengaruhi kelembaban udara menjadi naik.

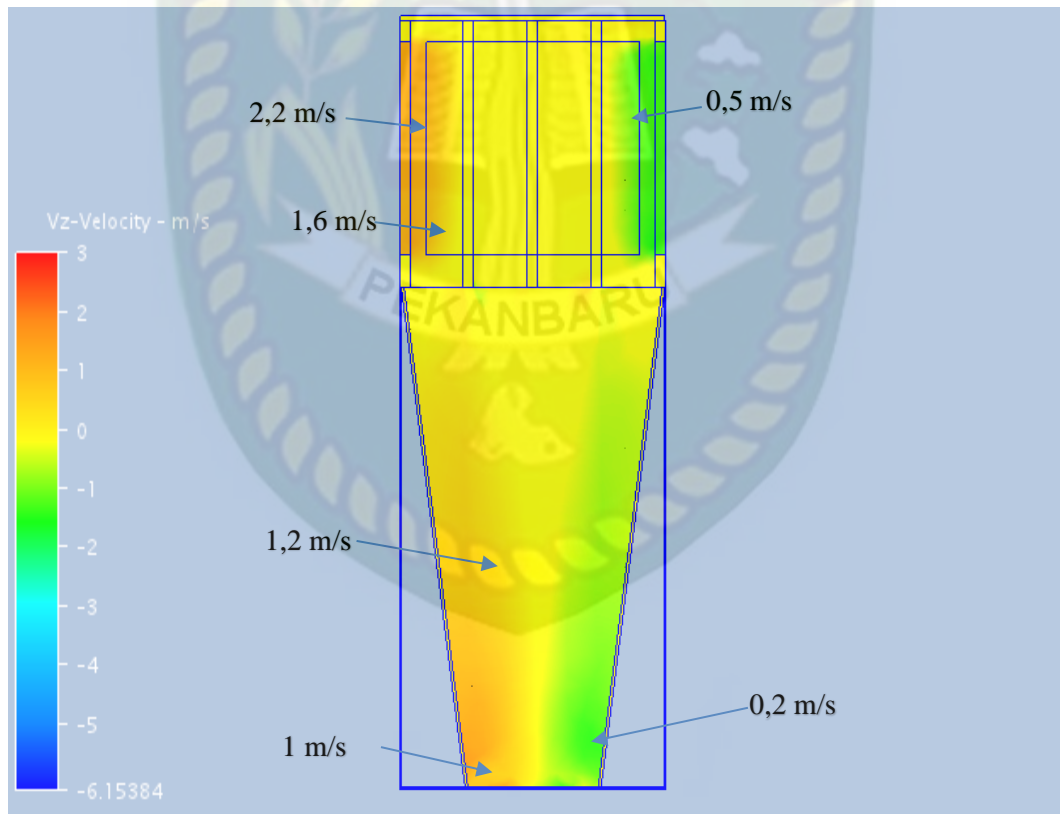
Semakin tinggi intensitas cahaya matahari mengakibatkan temperatur udara meningkat, dapat kita simpulkan bahwa intensitas cahaya matahari berbanding lurus dengan kelembaban udara. Perbedaan kenaikan dan penurunan grafik pada hari penelitian antara lain disebabkan oleh keadaan cuaca seperti keadaan panas dan keadaan cuaca mendung yang tidak menentu.

4.4 Analisa Pembahasan Data Hasil Penelitian dengan Metode *Numerical* menggunakan CFD.

Analisa penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode *numerical* untuk melihat jenis aliran yang terjadi pada proses masuk angin sekitar di luar ke dalam ruangan baik jenis laminar, turbulen dan transisi. Analisa yang dilakukan dengan mengambil data dari nilai rata-rata kecepatan angin dan temperatur pada penelitian hari pertama. Adapun Analisa data hasil penelitian yang dilakukan dengan menggunakan metode *numerical* adalah sebagai berikut:

- a. Analisa distribusi kecepatan angin pada *wind catcher* pada penelitian.

Bentuk distribusi dari kecepatan angin pada *wind catcher* pada penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.6 Gambar distribusi kecepatan angin pada *wind catcher* pada penelitian

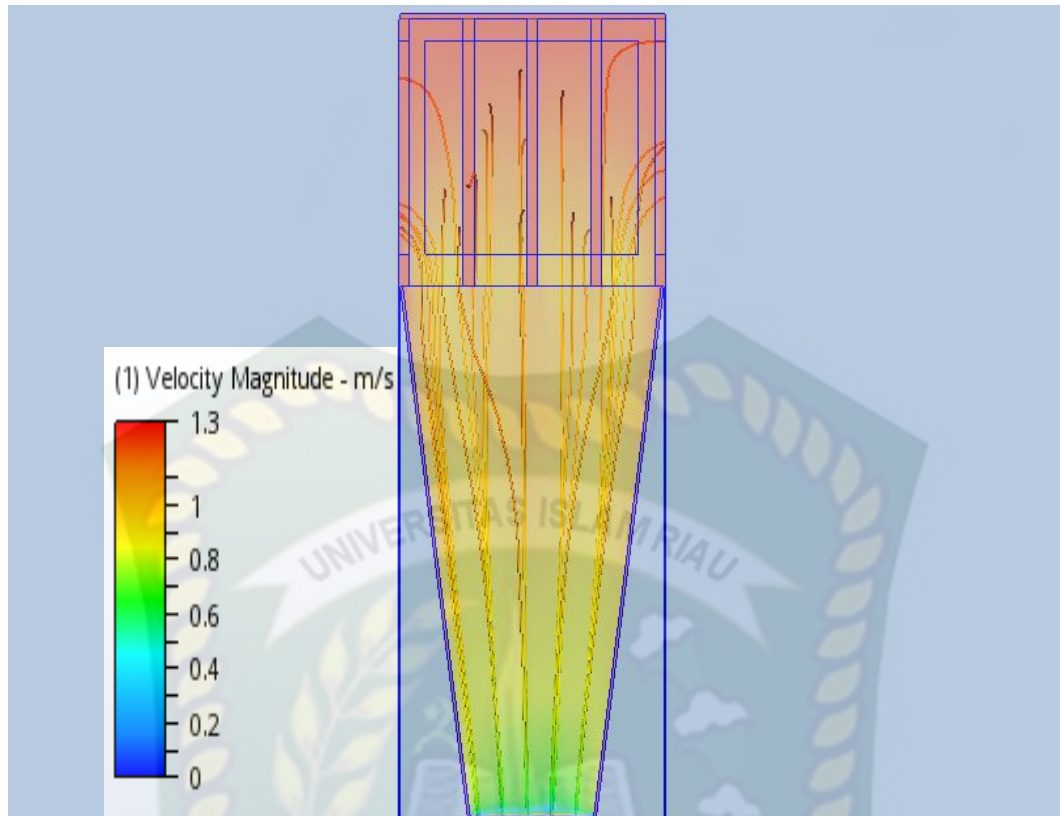
Gamabar 4.6 diatas menunjukkan distribusi kecepatan angin yang berasal dari bukaan ventilasi atau *windward*, dimensi dari *wind catcher* dapat dilihat pada gambar 3.3. Dilihat pada gambar tersebut tiap bagian memiliki distribusi kecepatan udara yang berbeda, terlihat perbedaan indikator warna pada *wind catcher* yang menandakan perbedaan kecepatan angin.

Indikator yang berwarna merah menandakan kecepatan angin sekitar tinggi dengan nilai 1.3 m/s pada bagian partisi dan mengakibatkan angin turun menjadi 0,9 m/s sebelum masuknya angin pada bagian *windward* dengan nilai 0.82 m/s dengan indikator bewarna hijau dan semakin menjauh dari posisi *windward* kecepatan angin semakin menurun dikarenakan adanya jarak yang di tandai dengan indikator berwarna biru pada bagian bawah dengan nilai 0.52 m/s dan bewarna kuning dengan nilai 0,7 m/s. *Wind catcher* di *design* dengan permukaan *divergen* masuknya angin dari ventilasi menuju permukaan *convergen* untuk meningkatkan kecepatan angin masuk kedalam ruangan.

Dapat disimpulkan bahwa semakin menjauhi *windward* distribusi kecepatan angin semakin mengecil hal ini diatasi menggunakan prinsip bernoulli dengan mendisain tempat laluan aliran angin dari *convergen to divergen*, artinya permukaan *windward* yang besar menuju ruangan dengan permukaan yang lebih kecil untuk membantu mempercepat aliran angin. Angin tidak dapat masuk seluruhnya disebabkan jarak dari ventilasi masuk dan tempat masuknya angin ke ruangan, dan terdapat gesekan antara udara karena perbedaan tekanan udara.

- b. Analisa jenis aliran udara yang masuk melalui *wind catcher* pada penelitian.

Adapun bentuk dari jenis aliran udara yang masuk melalui *wind catcher* pada penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.7 Gambar jenis aliran udara masuk melalui *wind catcher* pada penelitian

Pada gambar 4.10 dapat dilihat fenomena aliran udara yang terjadi pada saat proses masuknya udara disekitar kedalam ruangan dan menunjukkan *track* aliran yang berasal dari bukaan yang ada, Bagian atas tempat masuknya angin sekitar kedalam *wind catcher* yang dinamakan dengan angin *windward* pada saat pengambilan data angin mengalami turbulen karena angin membentur partisi lalu di alirkan kebawah kedalam ruangan. Ini lah yang menyebabkan kenapa angin disekitar tidak dapat masuk seluruhnya keruangan.

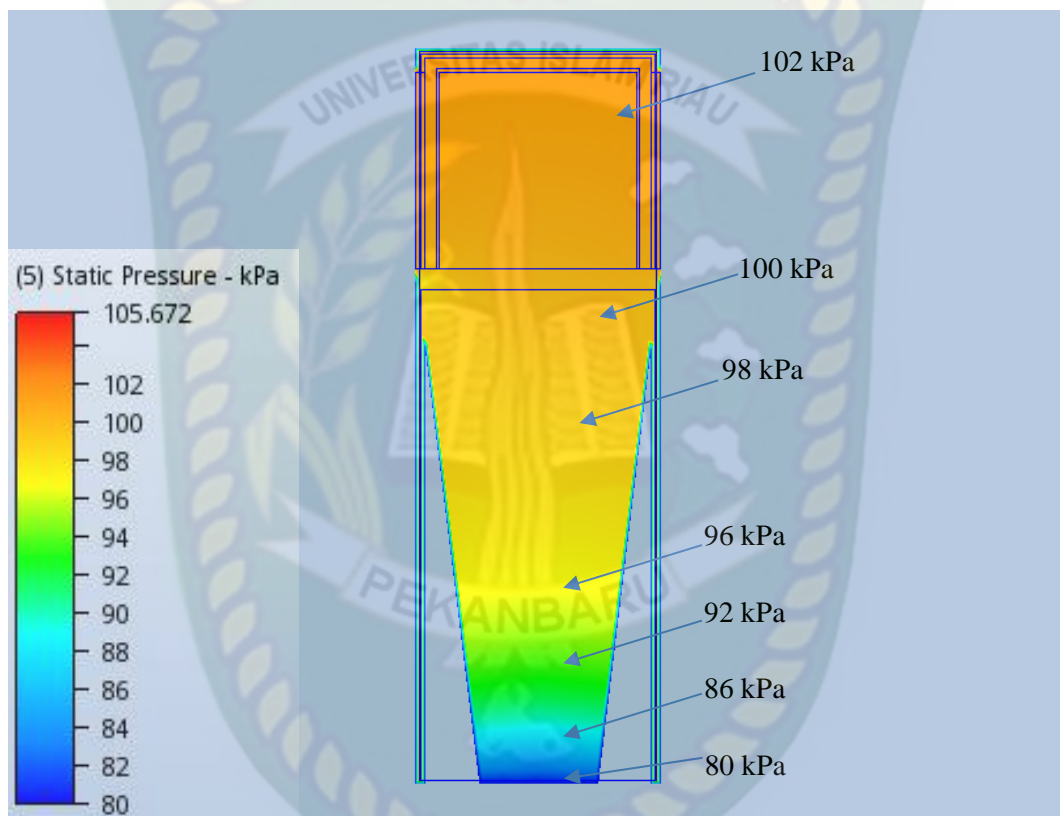
Kecepatan angin yang masuk melalui *wind catcher* yang ditandai dengan indikator warna pada vectors kecepatan angin yang bewarna merah memiliki nilai yang tinggi dan semakin turun kedalam ruangan kecepatan angin terus berkurang yang ditandai dengan indikator bewarna biru.

Pada gambar terlihat jenis aliran yang terjadi pada penelitian, angin masuk dan membentur dinding pembatas atas maupun partisi utama sebagai penghadang antar ventilasi agar angin tidak keluar melalui ventilasi lainnya lalu aliran turun menuju arah ruangan dan terlihat jenis aliran yang terjadi adalah jenis aliran

turbulen dan laminar. Aliran ini terjadi dikarenakan terdapat perbedaan temperatur antara diluar dan didalam *wind catcher*, aliran tersebut bergerak secara vertikal dan horizontal serta terdapat aliran turbulen dan aliran laminar.

- c. Analisa distribusi tekanan pada *wind catcher* penelitian hari pertama penelitian.

Adapun bentuk dari Distribusi tekanan pada *wind catcher* penelitian hari pertama penelitian adalah sebagai berikut :



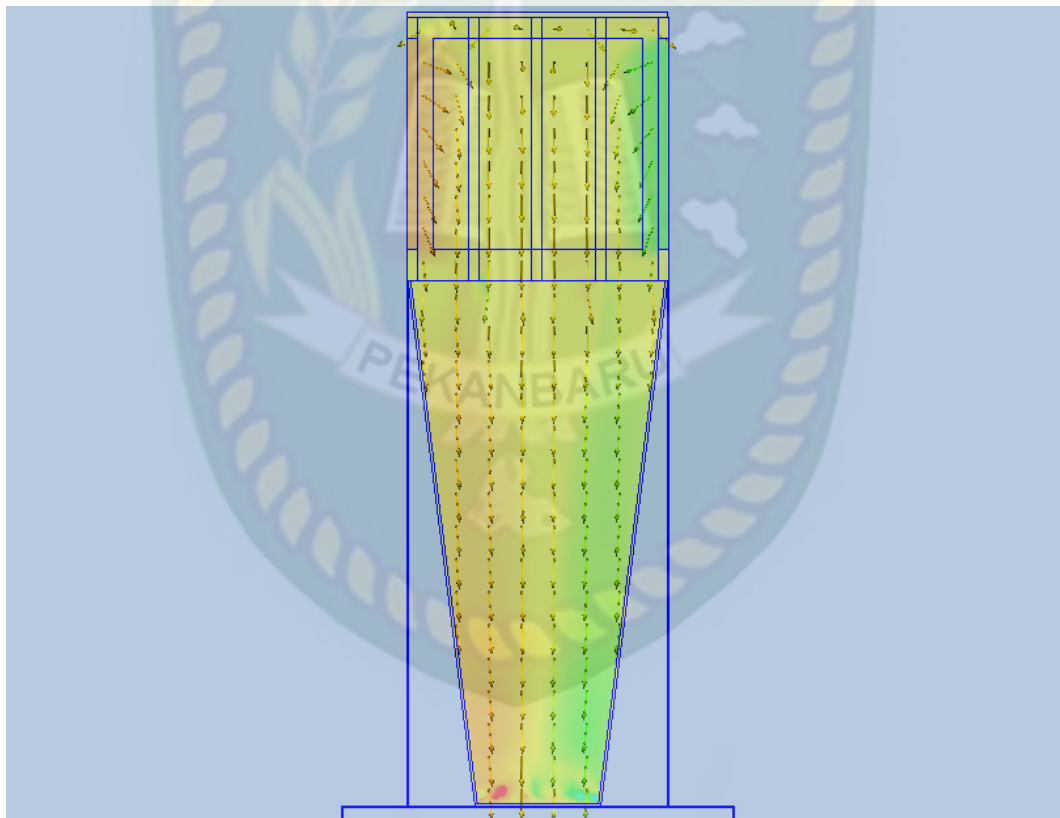
Gambar 4.8 Distribusi tekanan udara pada *wind catcher* pada penelitian

Pada gambar 4.8 dapat dilihat distribusi tekanan pada *wind catcher*, diketahui tekanan udara pada wilayah Marpoyan Damai adalah 103,5 kPa dari permukaan air laut, maka peneliti menggunakan tekanan tersebut dalam penelitian ini. Dalam hal ini sama dengan kecepatan angin yang masuk melalui *wind catcher* yang ditandai dengan indikator warna yang berwarna merah memiliki nilai yang tinggi dan semakin turun kedalam ruangan tekanan semakin berkurang terus berkurang yang ditandai dengan indikator berwarna biru.

Tekanan tinggi terdapat pada bagian ventilasi seperti dilihat pada gambar dengan nilai 102 kPa, tekanan turun setelah melewati *windward* dengan nilai 100 kPa tekanan turun menjadi 92 kPa dan semakin mendekati permukaan bawah yang mengalami *convergen* tekanan menurun menjadi 80 kPa. Aliran ini terjadi dikarenakan terdapat perbedaan tekanan antara diluar dan didalam *wind catcher*, aliran tersebut bergerak secara vertikal dan horizontal serta terdapat aliran turbulen dan aliran laminar.

- d. Analisa distribusi vector aliran udara pada *wind catcher* penelitian hari pertama penelitian.

Adapun bentuk dari distribusi vector pada *wind catcher* pada penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.9 Distribusi vektor aliran angin pada *wind catcher* pada penelitian

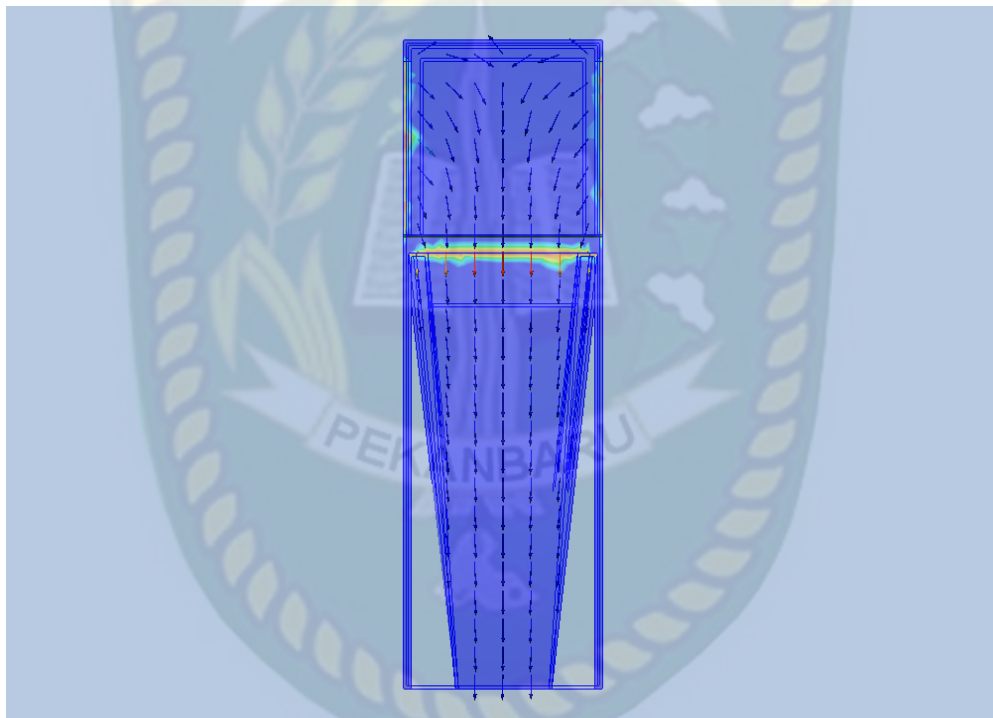
Pada gambar 4.9 dapat dilihat vektor aliran angin bergerak dari atas menuju bawah kedalam ruangan. Bagian atas tempat masuknya angin sekitar kedalam *windcatcher* yang dinamakan dengan angin *windward* pada saat pengambilan data,

sebelum angin masuk ke ruangan, angin membentur partisi yang menyebabkan kenapa angin disekitar tidak dapat masuk seluruhnya keruangan dikarenakan angin terpecahkan alirannya.

Angin dialirkan ke bawah menuju ruangan seperti yang terlihat pada vektor gambar 4.9, semakin kebawah kecepatan angin berkurang karena adanya jarak atau tinggi dari *wind catcher* terhadap tempat didistribusikan angin masuk ke dalam ruangan.

- e. Analisa distribusi vektor temperatur pada *wind catcher* penelitian hari pertama penelitian.

Bentuk dari distribusi vektor temperatur pada *wind catcher* penelitian hari pertama penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 4.10 Distribusi vektor temperatur pada *wind catcher* pada penelitian

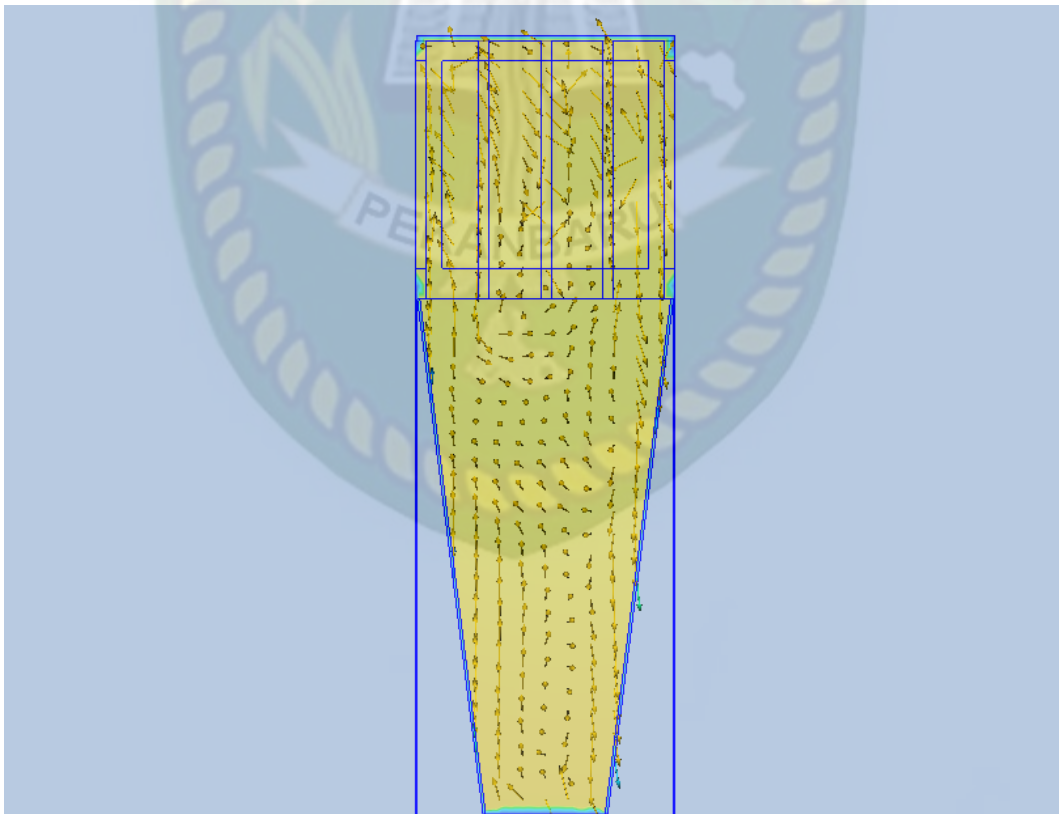
Pada gambar 4.10 dapat dilihat vektor temperatur bergerak dari atas menuju bawah kedalam ruangan. Bagian atas tempat masuknya angin sekitar kedalam *windcatcher* yang dinamakan dengan angin *windward* pada saat pengambilan data, Ini lah yang menyebabkan kenapa angin disekitar tidak dapat masuk seluruhnya keruangan.

Terlihat perbedaan warna didalam *wind catcher* yang menandakan terjadinya perbedaan temperatur dan kecepatan angin yang dimana vektor adalah menunjukkan bentuk karakteristik dari aliran angin. Dalam hal ini sama halnya dengan kecepatan angin yang masuk melalui *wind catcher* yang ditandai dengan indikator warna pada vektor kecepatan angin yang bewarna merah memiliki nilai yang tinggi dan semakin turun kedalam ruangan kecepatan angin terus berkurang yang ditandai dengan indikator bewarna biru.

Vektor yang bewarna merah menandakan pada nilai $32,2^{\circ}\text{C}$ pada bagian *windward* dan semakin menjauh dari posisi *windward* temperatur udara semakin menurun yang di tandai dengan indikator bewarna biru dengan nilai 24.5°C .

- f. Analisa vektor dari gesekan udara yang terjadi pada saat udara berbeda tekanan.

Bentuk dari vector dari gesekan udara yang terjadi pada saat udara berbeda tekanan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.11 Gesekan udara yang terjadi pada saat udara berbeda tekanan

Pada gambar 4.11 dapat dilihat bahwa terjadi fenomena gesekan terhadap angin pada saat masuknya angin dari luar ke dalam ruangan. Angin yang mengarah ke bawah adalah angin yang temperaturnya cenderung lebih dingin dan memiliki tekanan udara yang lebih rendah akan turun kebawah dibandingkan dengan angin yang temperaturnya lebih tinggi memiliki tekanan udara yang lebih rendah sehingga pergerakannya naik keatas.

Pada saat inilah dinamakan dengan peristiwa *bouyancy effect* atau gaya apung. Udara yang panas akan bergerak keatas menyebabkan udara yang lebih dingin masuk kedalam ruangan menggantikan posisi yang ditinggalkan oleh udara panas dan terus bersikulasi untuk menghasilkan keadaan pada dalam ruangan tidak pengap membuat penghuni didalam ruangan merasa nyaman dalam melakukan aktivitas dan mendapatkan kualitas udara yang baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini menggunakan *wind catcher* sebagai pendinginan pasif melalui ventilasi alami, alat ini mempunyai prinsip mengkondisikan udara dingin dan segar dari luar ruangan dimasukkan ke dalam untuk mendinginkan serta mensirkulasikan udara di ruangan. *Wind catcher* memiliki ketinggian 4 meter dari permukaan datum dan 16 meter dari permukaan lantai dasar bangunan karena semakin tinggi suatu tempat maka angin akan bertiup semakin cepat. Analisa data hasil penelitian menggunakan metode eksperimental dan *numerical* yang telah diuraikan pada bab sebelumnya. Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 04 Januari 2021 sampai dengan 14 Januari 2021 mulai pukul 09.00 – 15.00 wib.

Nilai parameter tertinggi pada hari penelitian terdapat pada hari ke tiga, Kecepatan angin tertinggi pada hari ketiga pada pukul 13.00 dengan kecepatan angin sekitar 3,7 m/s, kecepatan angin yang masuk melalui *windward* 3,16 m/s dan masuk ke dalam ruangan dengan kecepatan angin 2,2 m/s, dengan temperatur sekitar 30,3°C, temperatur pada bagian *windward* 33,7°C dan temperatur ruangan menjadi 31,9 °C. dengan keadaan cuaca berawan dan intensitas cahaya matahari 241,5 W/m².

Intensitas cahaya matahari berbanding lurus terhadap kelembaban udara dan temperatur pada sistem *wind catcher* dengan ventilasi alami ini. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari menyebabkan temperatur semakin meningkat dan kelembaban udara menurun membuat udara terasa panas. Intesitas cahaya matahari tertinggi pada penelitian ini adalah pada hari kedua 05 Januari 2021 dengan nilai 794,18 W/m² pada pukul 14.00 yang mempengaruhi temperatur menjadi 31,7°C mengakibatkan kelembaban menurun menjadi 28,9%. Dalam keadaan sebaliknya pada saat intensitas cahaya matahari rendah pada hari keenam 14 januari 2021 dengan nilai 171,3 W/m² yang mempengaruhi temperatur menjadi 29,8°C mengakibatkan kelembaban udara menjadi naik dengan nilai 53,25%.

Jenis aliran udara yang terjadi pada penelitian ini adalah turbulen dan laminar, aliran turbulen terjadi pada saat angin masuk melalui *windward*

membentuk ventilasi dan partisi utama dari *wind catcher*, sedangkan aliran laminar terjadi pada saat angin masuk kedalam ruangan.

Faktor yang mempengaruhi distribusi angin pada *wind catcher* adalah cuaca yang terus mengalami perubahan pada tiap jamnya menyebabkan kecepatan angin, temperatur, kelembaban dan intensitas cahaya matahari menjadi tidak stabil, kecepatan angin juga berkaitan dengan cuaca karena pada saat mendung akan terjadi hujan membuat kecepatan angin menjadi lebih kencang. angin yang terlalu laju tidak baik bagi alat *wind catcher* karena dapat menyebabkan alat tumbang apabila pondasi tidak kokoh.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Panel surya Gedung C Universitas Islam Riau, maka saran penulis adalah sebagai berikut :

1. Bagi mahasiswa peneliti selanjutnya yang ingin meneruskan penelitian ini sebaiknya pada penggunaan alat dan bahan yang lebih baik, bagus dan kokoh serta membuat rencana anggaran biaya (RAB) agar terlihat lebih baik.
2. Agar penelitian berjalan dengan lancar dan akurat sebaiknya dilakukan pemeriksaan dan kalibrasi terhadap alat ukur setiap kali akan dilakukan pengujian.
3. Pada pengambilan data hendaklah menjaga alat dan bahan dengan baik agar penelitian ini bisa terus dikembangkan oleh rekan-rekan yang berminat meneliti *wind catcher* ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifah, A. B., Adhitama, M. S., & Nugroho, A. M. (2017). Pengaruh Bukaannya Terhadap Kenyamanan Termal Pada Ruang Hunian Rumah Susun Apartemen Surabaya. *jurnal mahasiswa jurusan arsitektur*, 5(4).
- Benkari, N., Fazil, I., & Husain, A. (2017, september). Design and Performance Comparison of Two Patterns of Wind-catcher for a Semi-enclosed Courtyard. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 6(5), 396-400. doi:0.18178/ijmerr.6.5.396-400
- Bilgen, E., & Muftuoglu, A. (2008, June). Natural convection in an open square cavity with slots. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35, 896–900.
- Calautit, J. K., O'Connor, D., & Hughes, B. R. (2014). Determining the optimum spacing and arrangement for commercial wind towers for ventilation performance. *Building and Environment*, 82, 274 - 287.
- Cengel, Y. A. (2004). *Heat Transfer, A practical Approach (Second Edition)*. New York: Mcgraw-hill.
- Chen, Y., Tong, Z., & Malkawi, A. (2017). Investigating natural ventilation potentials across the globe: Regional and climatic variations. *Building and Environment*, 122, 386 - 396.
- Daghighi, R. (2015, April 3). Assessing the thermal comfort and ventilation in Malaysia and the surrounding regions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 681–691. doi:10.1016
- Dehghani-Sani, M. (2018, May 25). Wind towers: architecture, climate and sustainability. *International Journal of Ambient Energy*. doi:10.1080/01430750.2018.1477070
- Dutton, S., & Shao, L. (2010, Agustus 11-13). Window Opening Behaviour in A Naturally Ventilated School. *Fourth National Conference of IBSA-USA*, 260-268.
- Elmualim, A. A., & H.B, A. (2003). Post occupancy evaluation of a building employing wind catcher for summer ventilation. *Facilities*, 21(13/14). doi:10.1108/02632770310507980

- El-Shorbagy, A.-m. (2010). Design with Nature: Windcatcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 10(3), 26 - 31.
- Elzaidabi, A. A. (2009). *Low energy, wind catcher assisted indirect-evaporative cooling system for building applications*. Nottingham: PhD thesis, University of Nottingham.
- Hughes, B. R., Chaudhry, H. N., & Ghani, S. A. (2011, May 11). Renewable and Sustainable Energy Reviews. *A review of sustainable cooling technologies in buildings*, 15, 3112-3120. doi:10.1016/j.rser.2011.03.032
- Ismail, S. T., & Miran, F. D. (2019). The Revival Of Traditional Passive Cooling Techniques For School Building Through Windcatcher. *International Transaction Journal of Engineering Management, & Applied Sciences & Technologies*, 11(5). doi:0.14456/ITJEMAST.2020.97
- Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J. K., Mohd Yusof, M., Zaki, S. A., Hughes, B. R., & Muhammad Yazid, M. A. (2017, April). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 736-756. doi:10.1016.2016.11.254
- El-Shorbagy, A.-m. (2010). Design with Nature: Windcatcher as a Paradigm of Natural Ventilation Device in Buildings. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 10(3), 26 - 31.
- Elzaidabi, A. A. (2009). *Low energy, wind catcher assisted indirect-evaporative cooling system for building applications*. Nottingham: PhD thesis, University of Nottingham.
- Hughes, B. R., Chaudhry, H. N., & Ghani, S. A. (2011, May 11). Renewable and Sustainable Energy Reviews. *A review of sustainable cooling technologies in buildings*, 15, 3112-3120. doi:10.1016/j.rser.2011.03.032
- Ismail, S. T., & Miran, F. D. (2019). The Revival Of Traditional Passive Cooling Techniques For School Building Through Windcatcher. *International Transaction Journal of Engineering Management, & Applied Sciences & Technologies*, 11(5). doi:0.14456/ITJEMAST.2020.97

- Jomehzadeh, F., Nejat, P., Calautit, J. K., Mohd Yusof, M., Zaki, S. A., Hughes, B. R., & Muhammad Yazid, M. A. (2017, April). A review on windcatcher for passive cooling and natural ventilation in buildings, Part 1: Indoor air quality and thermal comfort assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 736-756. doi:10.1016.2016.11.254
- Nasri, M., & Hekmatpanah, R. (2010). Productivity and Energy Management in Desert Urban. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 70, 379-382.
- Negri, K. D. (2020). Retrieved from <https://pekanbarukota.bps.go.id/dynamic/table/2020/04/11/88/tinggi-wilayah-menurut-kecamatan-di-kota-pekanbaru-2019.html>
- Nejat, P., Jomehzadeh, F., Hussen, M. H., Calautit, K. J., & Majid, M. Z. (2018, September 23). Application of Wind as a Renewable Energy Source for Passive Cooling through Windcatchers Integrated with Wing Walls. *Energies*, 11(2536), 1-36.
- Nurdianto, E. (2016). *Analisis Computational Fluid Dynamics (Cfd) Dan Optimalisasi Untuk Redesain Proses Akhir Pengeringan Kopro Di Usaha Koperasi Bersama Kopro Putih Sonia Kabupaten Pringsewu*. Bandar Lampung: Skripsi: Fakultas Teknik, Bandar Lampung.
- Putra, W. P. (2009). *ventilasi untuk hunian berdempetan di daerah beriklim panas lembab*. Depok, Indonesia: FT univesitas Indonesia.
- Razak, H., Gandarum, D. N., & Juwana, J. S. (2015). Pengaruh Karakteristik Ventilasi dan Lingkungan Terhadap Tingkat Kenyamanan Termal Ruang Kelas SMPN Di Jakarta Selatan. *Jurnal Arsitektur*, 15(2), 1 - 18.
- Rilatupa, J. (2008, Agustus). Aspek Kenyamanan Thermal Pada Pengkondisian Ruang Dalam. *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS*, 18(3), 191-198.
- Santamouris, M., & Kolokotsa, D. (2013). Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. *Energy and Buildings*, 57, 74 - 94.
- Sarjito. (2020). *Peran Komputasi Dan Simulasi Numerik Untuk Peningkatan Efisiensi Dalam Pemanfaatan Energi*. Surakarta: Pengukuhan Guru Besar UMS.

- Satwiko, P. (2009). *Fisika Bangunan*. Yogyakarta, Indonesia: ANDI. Retrieved 2020
- Sugini. (2004, July). Pemaknaan Istilah- Istilah Kualitas Kenyamanan Thermal Ruang Dalam Kaitan Dengan Variabel Iklim Ruang. *LOGIKA*, 1(2). doi:ISSN: 1410-2315
- Tong, Z., Chen, Y., & Malkawi, A. (2017). Estimating natural ventilation potential for high-rise buildings Estimating natural ventilation potential for high-rise buildings. *Applied Energy*, 193, 276 – 286.
- Valipour, E., & oshrieh, R. (2012). Survey of traditional wind catcher of Middle East. *ICSDEC 2012*, 912-920.
- Valipour, E., & Oshrieh, R. (2012). Survey of traditional wind catcher of Middle East. *ICSDEC*.