

## EFEK MODEL JENDELA JUNGKIT 30° TERHADAP GERAKAN UDARA BANGUNAN BERORIENTASI UTARA DAN SELATAN

**Bernard Harianja<sup>1</sup>, Eddy Prianto<sup>2</sup>, Wahyu Setiabudi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua,

<sup>2,3</sup> Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Email: <sup>1</sup> harianjabernard@gmail.com, <sup>2</sup> dr.eddyprianto@yahoo.fr, <sup>3</sup>

wahyu.sb@fisika.fsm.undip.ac.id

### ABSTRAK

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian sebelumnya. Tujuan penelitian ini untuk menemukan kecepatan udara (*air velocity*) dan pola pergerakan udara pada ruang interior pada fasad Utara dan fasad Selatan Ruang Pertemuan (dinding massif tanpa ada bukaan ventilasi) dengan mempertimbangkan aspek kecepatan dan sumber arah datang angin dominan sebagai *input*, posisi dan luas bukaan ventilasi, dengan model jendela jungkit 30° yang terletak pada dua sisi bidang selubung yang saling berhadapan. Objek penelitian adalah Ruang Pertemuan dengan luas 51 m<sup>2</sup> yang terletak di Kampung Kwadeware, Kota Sentani yang akan dimodelkan dengan program simulasi CFD (*Computational Fluid Dynamics*) Ecotect Analysis 2011. Data input untuk menjalankan program simulasi ini menggunakan data primer yang diambil dilapangan yaitu kecepatan angin eksterior rata-rata (5 m/dt) dan suhu udara eksterior (28°C) dan interior (32°C) serta data sekunder seperti arah datang angin dominan (arah Barat) dan temperature udara eksterior rata-rata dalam satu tahun dari BMKG Balai Besar Wilayah V Jayapura, serta data kekentalan udara (*viscosity*) 1.8e-05 dan tekanan udara (1,2 kg/m<sup>3</sup>) dari Standard Internasional. Ditemukan bahwa aliran angin dominan (*input*) yang berhembus ke arah bidang/fasad bangunan (Utara dan Selatan) yang tidak memiliki lubang ventilasi, tetapi aliran udara tetap masuk mengalir ke dalam ruang interior dengan kecepatan yang relatif sama, yaitu 0,121 m/dt sampai dengan 0,150 m/dt (kategori Nyaman, Tanpa Terasa) melalui lubang ventilasi yang terletak di sisi samping kiri dan kanan bangunan. Kecepatan udara interior yang dihasilkan pada 2 (dua) simulasi pemodelan CFD ini tidak memenuhi standar yang disyaratkan

Kata Kunci : Simulasi CFD, Fasad, Jendela Jungkit

### ABSTRACT

*This research is part of the previous research. The purpose of this research is to find the air velocity and air movement pattern in the interior space on the North facade and South facade of the Meeting Room (massive walls without ventilation openings) by considering the aspects of speed and dominant wind direction sources as input, position and area of ventilation openings, with a 30° tilt window model located on two sides of the envelope plane facing each other.*

*The object of the research is a Meeting Room with an area of 51 m<sup>2</sup> located in Kwadeware Village, Sentani City which will be modeled using the CFD (Computational Fluid Dynamics) simulation program Ecotect Analysis 2011. The input data to run this simulation program uses primary data taken in the field, namely the average exterior wind speed (5 m/s) and exterior air temperature (28°C) and interior (32°C) as well as secondary data such as the dominant wind direction (West direction) and the average exterior air temperature in one year from the BMKG Regional Office V Jayapura, as well as air viscosity data (viscosity) 1.8e-05 and air pressure (1.2 kg/m<sup>3</sup>) from the International Standard.*

*It was found that the dominant wind flow (input) blew toward the building's facades (North and South) that lacked ventilation holes, but air flow still entered the interior space at relatively similar speeds, namely 0.121 m/s to 0.150 m/s (Comfortable, Unnoticeable category) through ventilation holes located on the left and right sides of the building. The interior air velocity generated in these two CFD modeling simulations did not meet the required standards.*

*Keywords: CFD Simulation, Facade, Tilt Window*

### 1. PENDAHULUAN

Ada konteks yang perlu diperhatikan pada saat merancang bangunan gedung dengan konsep Pendinginan Pasif yaitu :

1. Orientasi bangunan
2. Type bukaan jendela
3. Jumlah dan luas lubang bukaan *inlet* dan *outlet* dan
4. Posisi lubang bukaan *inlet* dan *outlet* terhadap arah datang angin.

Penelitian ini dilatar belakangi dari beberapa penelitian sebelumnya yang menyoroti mengenai pemilihan orientasi bangunan, kecepatan udara, pola aliran udara, arah datang angin dan beberapa tipe bukaan jendela pada ruang interior dalam menciptakan kenyamanan aliran udara yang disyaratkan.

Peneliti telah mengkaji beberapa hasil penelitian ilmiah sebelumnya yang memiliki kesamaan variabel penelitian, adapun kedudukan penelitian ini terkait orientasi, ventilasi dan alat perhitungan berbasis pemodelan simulasi CFD yaitu :

**Tabel 1. 1.** Road Map Penelitian Terkait Pemodelan dengan Program Simulasi CFD

No	Peneliti	Judul	Metode	Alat Ukur	Objek
1	(sangkertadi & suryono, desember 2001)	Mengestimasi koefisien bukaan Cd pada Jendela Bangunan Tinggi dengan Bantuan simulasi CFD	Kuantitatif	Simulasi CFD <i>Fluent</i> dan model persamaan Navier-Stokes	Lubang ventilasi Pada bangunan kantor
2	Eddy Prianto, Dimensi Teknik Arsitektur, Vol. 30, 2002	Alternatif desain arsitektur daerah tropis lembab dng pendekatan kenyamanan termal	Kuantitatif	Simulasi N3S	Jendela jungkit/gantung atas 30°, -30°, 45°, -45° pada rumah tinggal
3	(Kindangen, Pengaruh Tipe Jendela Terhadap Pola Aliran Udara dalam Ruang, 2003)	Pengaruh tipe jendela terhadap pola gerakan udaradalam ruang	Kuantitatif	Simulasi CFD <i>Fluent</i>	Jendela pivot horizontal 30°, 45°, 60° dan jungkit/gantung atas 30°, 45°, 60°
4	(Kindangen, Investigasi Pola Aliran Udara Dalam Bangunan Bertingkat Akibat Pengaruh Penghalang Di Depan Dan Di Belakangnya, 2005)	Investigasi pola gerakan udara dalam bangunan bertingkat akibat pengaruh penghalang di depan & dibelakangnya.	Kuantitatif	Simulasi CFD <i>Fluent</i> dan persamaan numerik	Lubang ventilasi pada bangunan 5 lantai dengan 7 konfigurasi
5	(Harianja, Prianto, & Setiabudi, Validasi Antara Pengukuran In-Situ dan Program Simulasi CFD Terhadap Hubungan Orientasi Bangunan Dengan Jendela Jungkit 30° dan Arah Datang Angin, 2016)	Studi CFD Dan In-Situ Terhadap Gerakan Udara Interior Dari Efek Pilihan Model Jendela Jungkit	Kuantitatif	Simulasi CFD <i>Ecotect Analysis 2011</i>	Validasi program Simulasi CFD Dengan Membandingkan Hasil Pengukuran Objek <i>In Situ</i> Dengan Menggunakan Kipas Angin Dan Perhitungan Simulasi CFD Dengan Objek Pemodelan <i>In Situ</i> .
6	(Latif, 2020)	Sistem Ventilasi Alami Satu Sisi pada Kamar Kos dengan Metode <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	Kuantitatif	Simulasi CFD <i>Solid Works CAD</i>	Lubang Ventilasi pada Kamar Kos (KK) Dengan 4 Konfigurasi Luasan Bukaan Pada Bidang Yang Sama.
7	(Harianja, Prianto, & Setiabudi, Efek Model Jendela Jungkit 30° Terhadap Gerakan Udara Bangunan Berorientasi Barat Dan Timur, 2023)	Efek Model Jendela Jungkit 30° Terhadap Gerakan Udara Bangunan Berorientasi Timur dan Barat.	Kuantitatif	Simulasi CFD <i>Ecotect Analysis 2011</i>	Menentukan Orientasi Bangunan Terbaik Dari 2 Pemodelan (Timur Dan Barat) Terhadap Sumber Angin Dominan Dengan Ventilasi Selubung Dari Pilihan Model Jendela Jungkit 30°

Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan besaran kecepatan udara dan pola pergerakan udara pada ruang interior apabila orientasi bangunan di arahkan ke Utara dan Selatan terhadap sumber angin dominan (*input*) dari arah Barat, dengan mempertimbangkan aspek posisi dan luas bukaan ventilasi pada selubung, kecepatan udara interior (*air velocity*) yang memenuhi kriteria dan pola pergerakan udara (*flow factor*) pada ruang interior dengan menggunakan model jendela jungkit yang terletak

pada 2 (dua) sisi bidang selubung (Timur dan Barat) yang saling berhadapan langsung (ventilasi silang).

**Tabel 1. 2.** Matriks Variabel Penelitian Terkait Orientasi, Ventilasi dan Pemodelan Simulasi CFD

	Kecamatan Udara	Pola aliran udara	Arah datang angin (Satu arah)	Arah datang angin (Multi arah)	Orientasi Bangunan (1 arah)	Orientasi Bangunan (2 arah)	Orientasi Bangunan (3 arah)	Landala insangit 30°	Landala insangit 30°	Landala insangit 45°	Landala insangit 45°	Landala insangit 60°	Ventilasi 1 Sisi	Ventilasi Silang	Landala insangit horizontal 30°	Landala insangit horizontal 45°	Landala insangit horizontal 60°	Luas ventilasi	P M V	Simulasi CFD Eluent	Simulasi CFD NPS	Simulasi CFD Solid Model	Simulasi CFD Ecotect
<b>Pemodelan – 1</b> (Sangkertadi & Suryono, desember 2001)	√	√	√															√		√			
<b>Pemodelan – 2</b> (Prianto, 2002)	√	√	√					√	√	√	√								√		√		
<b>Pemodelan – 3</b> (Kindangen, 2003)	√	√	√					√		√		√			√	√	√			√			
<b>Pemodelan – 4</b> (Kindangen, 2005)	√	√	√															√		√			
<b>Pemodelan – 5</b> (Harianja, Prianto, & Setiabudi, 2016)	√	√	√				√	√					√	√									√
<b>Pemodelan – 6</b> (Latif, 2020)	√	√	√				√						√					√				√	
<b>Pemodelan – 7</b> (Harianja, Prianto, & Setiabudi, 2023)	√	√	√			√		√						√									√
<b>Pemodelan – 8</b> (Penelitian saat ini, 2025)	√	√	√			√		√						√									√

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk menemukan besaran kecepatan udara dan pola pergerakan udara pada ruang interior yang berorientasi ke arah Utara dan Selatan terhadap sumber angin dominan (*input*), adalah dengan metode kuantitatif menggunakan alat perhitungan program pemodelan simulasi CFD (Ecotect Analisis 2011 dan program *plug in* Windair V1.4b 2007). Kedua program ini memiliki fungsi yang berbeda, tetapi bekerja secara simultan dan terintegrasi, dan hasil kerjanya disebut CFD (*Computational Fluid Dynamics*). Program Ecotect Analysis bekerja untuk membuat pemodelan objek secara 3 dimensi sedangkan program Windair V1.4b 2007 bekerja untuk mengkalkulasi jumlah kecepatan angin dan gerakan aliran udara (*air flow vector*) dengan berbagai variasi pemodelan sesuai kebutuhan diluar atau didalam bangunan.

Pemodelan simulasi CFD digunakan untuk menghitung kecepatan udara (*air velocity*) dan pola gerakan aliran udara (*air flow factor*) di luar dan di dalam ruangan setelah melewati halangan disekitar objek penelitian, seperti bangunan, vegetasi dan ventilasi.

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan Hipotesa penelitian yaitu untuk menemukan besaran kecepatan udara dan pola pergerakan udara pada ruang interior dengan 2 (dua) pemodelan dimana fasad utamanya diorientasikan ke arah Utara dan Selatan terhadap sumber angin dominan (*input*) dari arah Barat, posisi dan luas ventilasi pada selubung bangunan, sudut bukaan ventilasi dan patokan kecepatan dan kenyamanan aliran udara interior yang dibutuhkan.

2. Menentukan Sumber angin input berdasarkan arah dan kecepatan angin dominan pada lokus penelitian yaitu dari Barat, untuk 2 (dua) kali pemodelan simulasi CFD.
3. Menentukan pilihan jendela jungkit 30° pada objek pemodelan untuk mendapatkan kecepatan udara maksimum. (Harianja, Prianto, & Setiabudi, 2016, pp. 296-299)
4. Membuat pemodelan objek bangunan nyata dengan menerapkan jendela jungkit 30° menggunakan aplikasi program pemodelan simulasi Ecotect Analisis 2011.
5. Menentukan Tekanan udara (*air density*) dan Kekentalan udara (*viscosity air*) sebagai data input program Simulasi Ecotect Analisis 2011.
6. Menentukan temperatur udara eksterior dan interior dengan melakukan pengukuran *in situ* di lokasi penelitian atau menggunakan data pada Tabel I.3 untuk dijadikan data input program Simulasi Ecotect Analisis 2011.

**Tabel 1. 3.** Data Arah dan Kecepatan Angin Kabupaten Jayapura

No	UNSUR	BULAN - TAHUN 2015											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Arah Dominan	Barat	Barat	Barat	Barat	Barat	Tgr	Tgr	Tgr	Barat	Tgr	Barat	Barat
2	Kec. Rata-rata (knot)	6.4	8.2	9.1	5.1	3.5	4.0	3.3	4.0	3.4	4.5	4.0	5.5
3	Kelembaban Rata-rata (%)	76.4	74	75.2	73.6	76.4	77.5	76.3	74.6	74.4	72.8	76.5	76
4	Suhu Udara Ext Rata-rata °C	27.5	27.6	27.3	28.1	27.6	27.6	27.3	27.8	27.9	28.3	28.2	28.1

(1 knot = 1 mil laut/jam = 1.852 km/jam = 514 ms<sup>-1</sup>). (bestconverter, 2023).

Sumber : BMKG Balai Besar Wilayah V Jayapura, Stasiun Meteorologi Sentani Tahun 2015.

**Tabel 1. 4.** Standar Internasional (SI) Kondisi Atmosfer Diatas Permukaan Laut

Pressure	$p_0 = 101\,325\text{ N/m}^2 = 1013.25\text{ hPa}$
Density	$\rho_0 = 1.225\text{ kg/m}^3$
Temperature	$T_0 = 288.15^\circ\text{K} (15^\circ\text{C})$
Speed of sound	$a_0 = 340.294\text{ m/sec}$
Acceleration of gravity	$g_0 = 9.80665\text{ m/sec}^2$

Sumber: (ISO 1975, 1)

**Tabel 1. 5.** Kekentalan Kinematic 8 Fluida Pada 1 ATM - Suhu 20°C

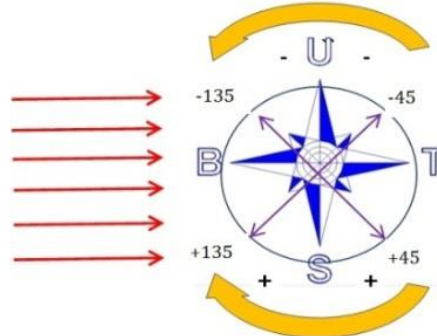
Fluida	$\mu$ , kg/(m·s)†	Nisbah $\mu/\mu(\text{H}_2)$	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	$\nu$ , m <sup>2</sup> /s†	Nisbah $\nu/\nu(\text{Hg})$
Hidrogen	8,8 E-6	1,0	0,084	1,05 E-4	920
Udara	1,8 E-5	2,1	1,20	1,51 E-5	130
Berisin	2,9 E-4	33	680	4,22 E-7	3,7
Air	1,0 E-3	114	998	1,01 E-6	8,7
Ethanol	1,2 E-3	135	789	1,52 E-6	13
Air-raksa	1,5 E-3	170	13.580	1,16 E-7	1,0
Minyak pelumas SAE	0,29	33.000	891	3,25 E-4	2.850
Gliserin	1,5	170.000	1.264	1,18 E-3	10.300

1 kg/(m.s)= 0,0209 slug/ (ft . s): 1m<sup>2</sup>/s = 10,76 ft<sup>2</sup>/s

Sumber: (White 1986, 26)

7. Menentukan sudut datang vektor berdasarkan sudut datang angin input Barat ke arah Timur dengan ketentuan :
  - a. Apabila arah aliran udara (*vector*) bergerak berlawanan dengan jarum jam maka besaran sudut vector terhadap sumber angin adalah Negatif (-).

- b. Apabila arah aliran udara (*vector*) bergerak searah dengan jarum jam maka besaran sudut vector terhadap sumber angin adalah Negatif (-).
8. Setelah data-data primer dan sekunder terkumpul, maka tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi pemodelan CFD dengan menggunakan program Ecotect Analysis 2011 dan program *plug in* Windair 1.4b. 2007 yang dilakukan sebanyak 2 (dua) kali pemodelan pada orientasi fasad utama bangunan menghadap ke arah Utara dan Selatan terhadap sumber angin dominan (*input*) dari arah Barat.



Gambar 1. Arah Gerakan Aliran Udara

9. Melakukan analisis terhadap hasil simulasi pemodelan CFD dengan:
- Menghitung kecepatan aliran udara interior berdasarkan *grid pixel*/warna (*air flow rate*) dari grafis yang dihasilkan simulasi pemodelan CFD yang dinyatakan kedalam besaran kecepatan udara di dalam ruangan dengan *grid pixel* (warna) yang dibagi ke dalam beberapa gradasi dan ukuran kecepatan (m/dt).
  - Menentukan pola gerakan aliran udara hasil dari simulasi pemodelan CFD berupa garis-garis alir (*air flow vector*) yang terjadi di dalam ruangan.
  - Kecepatan aliran udara dan Pola gerakan aliran udara di dalam ruang interior akan dikelompokkan menjadi 2 (dua) zona yaitu :
    - Kecepatan aliran udara (Zona *Inlet* dan *Outlet*) yang terdiri dari :
      - Zona Inlet : Eksterior dan Interior.
      - Zona Tengah Ruang : Interior
      - Zona Outlet : Eksterior dan Interior
    - Pola gerakan aliran udara (Zona Ruang) yang terdiri dari :
      - Zona Ruang 1 (ZR-1)
      - Zona Ruang 2 (ZR-2)
      - Zona Ruang 3 (ZR-3)
10. Melakukan analisis akhir terhadap hasil simulasi pemodelan CFD dengan membandingkannya dengan standar Patokan Kecepatan Udara Lippsmeir G (1994).

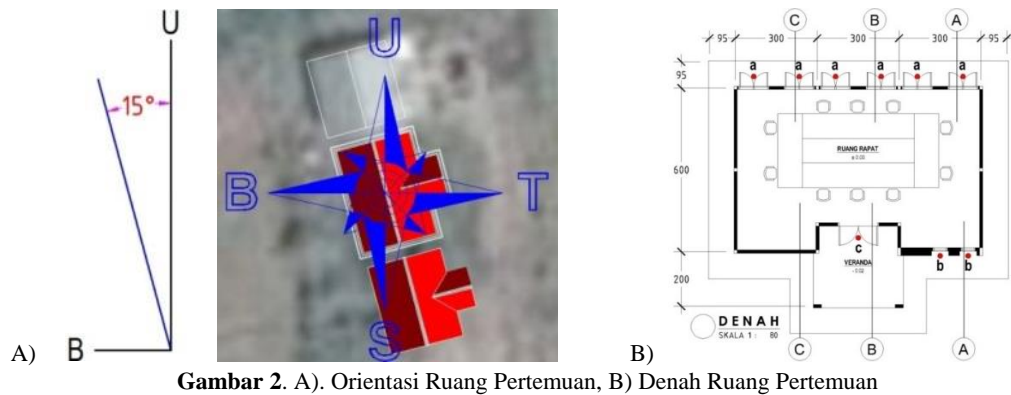
Tabel 1. 6. Patokan Kecepatan Udara

Kecepatan Angin(m/dt)	Tanda-Tanda Kecepatan Angin
< 0.25	Nyaman, tanpa dirasakan adanya gerakan udara
0.25 – 0.50	Nyaman, gerakan udara terasa
1.00 - 1.50	Aliran angin ringan
>1.50	Tidak menyenangkan

Sumber: (Lippsmeier 1994, 38)

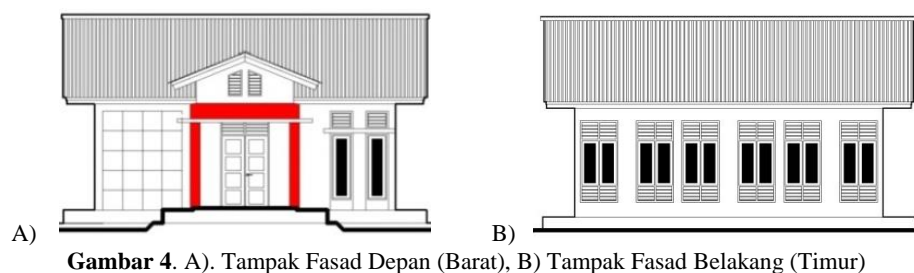
### 3. DESKRIPSI OBJEK PENELITIAN

Orientasi Ruang Pertemuan existing adalah  $-15^\circ$  terhadap Utara. Sumber arah datang angin terbesar berasal dari arah Barat dan Tenggara (Tabel I.3).

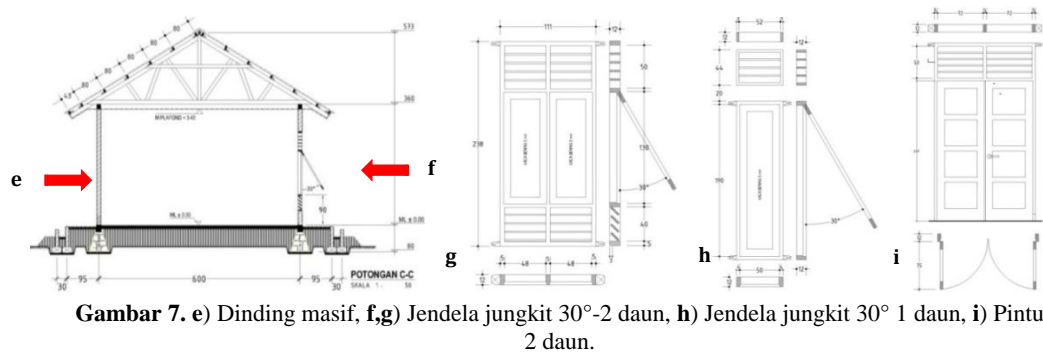
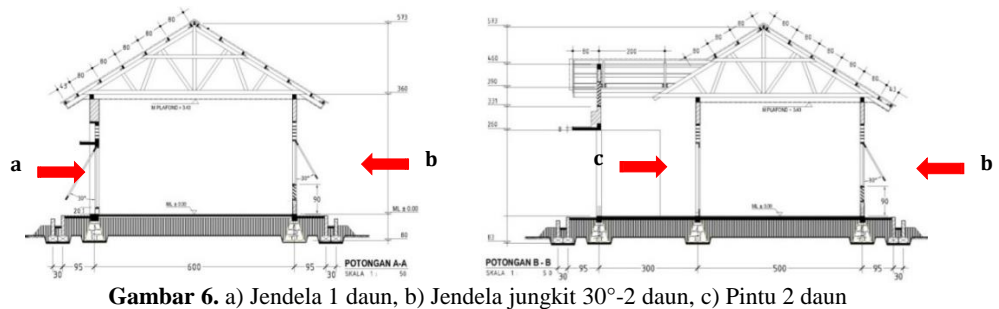
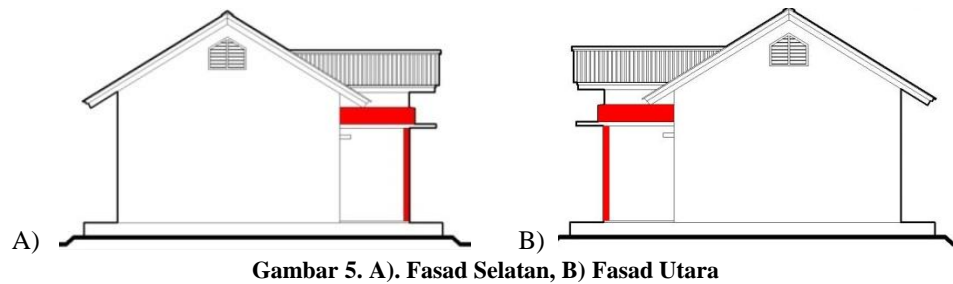


Adapun spesifikasi bangunan Ruang Pertemuan yang akan dijadikan objek model simulasi adalah sebagai berikut :

1. Luas Ruang Pertemuan adalah 54 m<sup>2</sup> (6 m x 9 m), tinggi plafond dari muka lantai 3.2 meter dan kapasitas peserta rapat 15 orang.
2. Pada sisi depan selubung bangunan ini terdapat 2 (dua) unit lubang jendela dan 1 (satu) unit lubang pintu dua daun. Sisi depan selubung bangunan ini condong mengahap ke arah Barat Daya (Gambar 2) :
  - Luas lubang pintu @0.75 m x 2.2 m x 2 lubang = 1.9 m<sup>2</sup> dan luas lubang ventilasi atas @0.5 m x 0.72 m x 2 lubang = 0.72 m<sup>2</sup>.
  - Luas lubang jendela 1 daun @1.9 m x 0.5 m x 2 lubang = 1.9 m<sup>2</sup>,
  - Luas lubang ventilasi atas @0.52 m x 0.38 m x 2 lubang = 0.395 m<sup>2</sup>.
3. Pada sisi belakang Ruang Pertemuan ini terdapat 36 (tiga puluh enam) unit lubang ventilasi (tengah, atas, bawah) dan condong mengahap ke arah Barat (Gambar 2) :
  - Luas lubang ventilasi tengah @ 1.3 m x 0.5 m x 12 daun = 7.8 m<sup>2</sup>,
  - Luas lubang ventilasi atas @ 0.5 m x 0.48 m x 12 lubang = 2.88 m<sup>2</sup>,
  - Luas lubang ventilasi bawah @ 0.4 m x 0.48 m x 12 lubang = 2,304 m<sup>2</sup>,
4. Total luas lubang ventilasi atas dan bawah 2.88 m<sup>2</sup> + 2,304 m<sup>2</sup> = 5.184 m<sup>2</sup>.





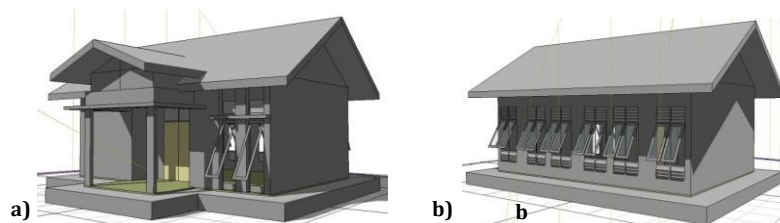


#### 4. DATA, ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

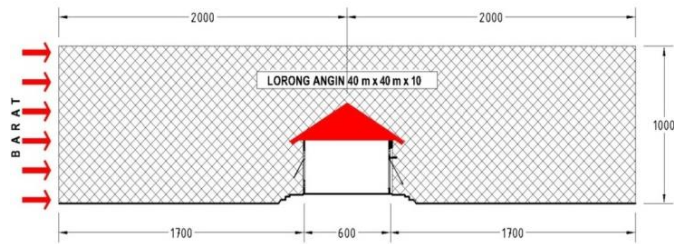
##### 4.1. Data *Input* Simulasi

Adapun data awal (*input*) yang diperlukan untuk simulasi pemodelan CFD Ecotect Analisis 2011 adalah:

1. Pembuatan objek model dengan 12 jendela jungkit 30° (ventilasi atas dan bawah) dan 2 jendela jungkit 30° (ventilasi atas) yang di input pada program Ecotect Analisis 2011.

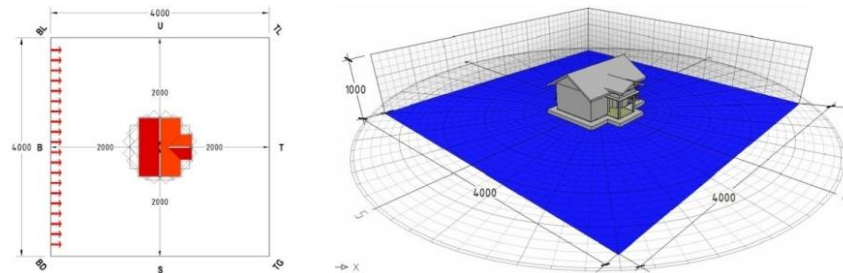


2. Sumber arah datang angin input ditentukan dari arah Barat dengan 2 (dua) pemodelan orientasi bangunan yaitu Utara dan Selatan dengan kecepatan angin input 5 m/dt, dan jarak sumber angin input yang berhembus ke arah bangunan adalah 17 meter.



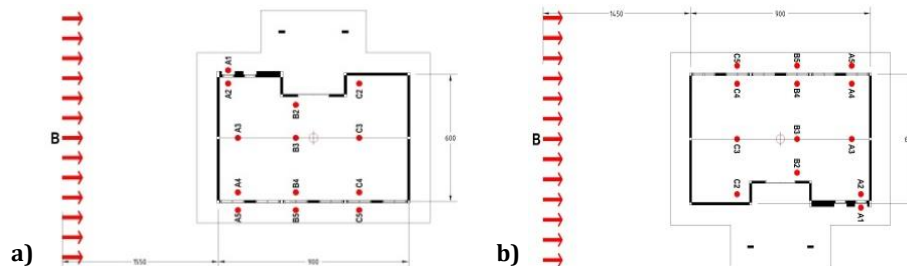
Gambar 9. Penampang terowongan aliran angin pada simulasi pemodelan CFD

- Grid area aliran (terowongan) angin untuk simulasi pemodelan CFD adalah 40 meter x 40 meter x 10 meter, tinggi permukaan lantai objek 50 cm dari permukaan tanah dan posisi objek tepat berada ditengah-tengah grid area.



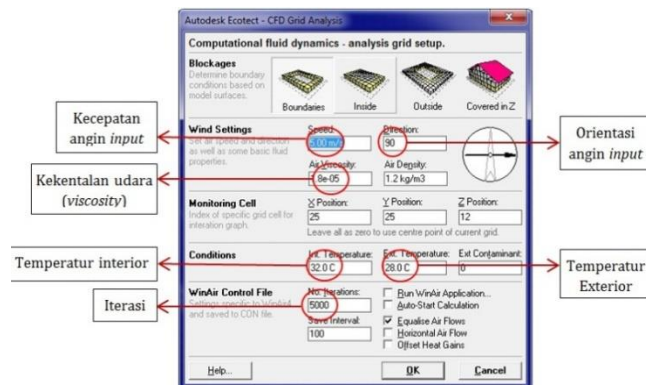
Gambar 10. Grid area aliran terowongan angin pada program simulasi pemodelan CFD.

- Objek model akan diputar dari sumbunya sebanyak 2 (dua) pengkondisian orientasi bangunan (Utara dan Selatan), dengan satu sumber arah datang angin input yaitu dari arah Barat.



Gambar 11. Pemodelan: a) Fasad Utara Menghadap Ke Barat, b) Fasad Selatan Menghadap Ke Barat

- Temperatur udara ruang interior ditentukan berdasarkan hasil pengukuran rata-rata di lokasi penelitian, suhu ruang interior  $32^{\circ}\text{C}$  dan suhu eksterior  $28^{\circ}\text{C}$  (Tabel I.3).
- Tekanan udara standar  $1.2 \text{ kg/m}^3$  (lihat Tabel I.4), Iterasi 5000/100,
- Kekentalan udara (*viscosity*) standard  $1.8\text{e-}05$  (lihat Tabel I.5).



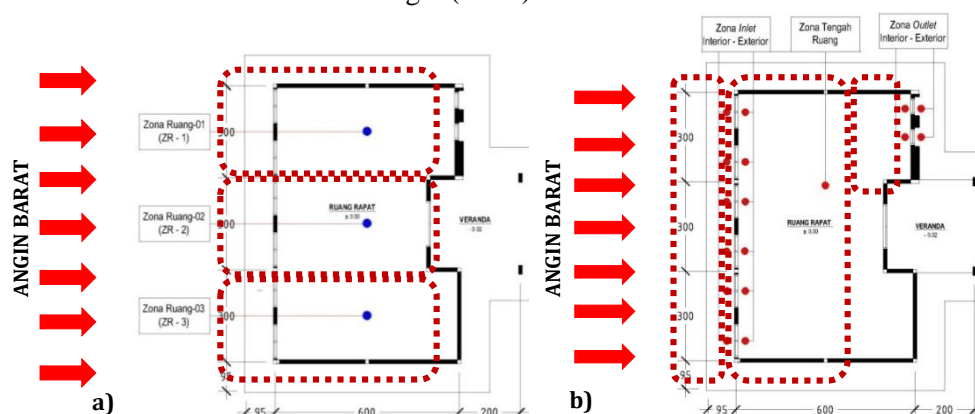
Gambar 12. Panel data input simulasi CFD



#### 4.2. Hasil Output Simulasi

Adapun hasil akhir (*output*) simulasi pemodelan CFD ini adalah:

1. Kecepatan udara :
  - ✓ Menyatakan dalam besaran kecepatan udara di dalam ruangan dengan grid pixel-pixel (warna/i) yang dibagi ke dalam beberapa gradasi dan ukuran yang ditentukan oleh program simulasi CFD.
  - ✓ Angka kecepatan setiap grid pixel merupakan hasil perhitungan program simulasi pemodelan CFD yang dirata-ratakan dari total kecepatan udara di dalam ruangan.
  - ✓ Kecepatan udara interior rata-rata akan dibandingkan dengan syarat yang berlaku sebagai patokan kenyamanan aliran udara oleh Lippsmeier G (1994), lihat Tabel 6.
2. Pola gerakan aliran udara :
  - ✓ Pola aliran udara yang terjadi di ruang luar (*exterior*) dan ruang dalam (*interior*) adalah hasil program simulasi pemodelan CFD berupa garis/vektor alir (*air flow vector*).
  - ✓ Pola aliran udara dan kecepatan udara di dalam ruangan akan dikelompokkan menjadi 2 (dua) zona yaitu :
    - a. Zonasi Ruang yang terdiri dari :
      - Zona Ruang 1 (ZR-1)
      - Zona Ruang 2 (ZR-2)
      - Zona Ruang 3 (ZR-3)



Gambar 13. a) Zonasi Ruang, b) Zonasi Inlet dan Outlet

- b. Zonasi *Inlet* dan *Outlet* yaitu:
  - Zona *Inlet* : Eksterior dan Interior
  - Zona Tengah Ruang : Interior
  - Zona *Outlet* : Eksterior dan Interior
- ✓ Inlet angin dari arah Barat ke Timur yang digambar dari sisi kiri denah.

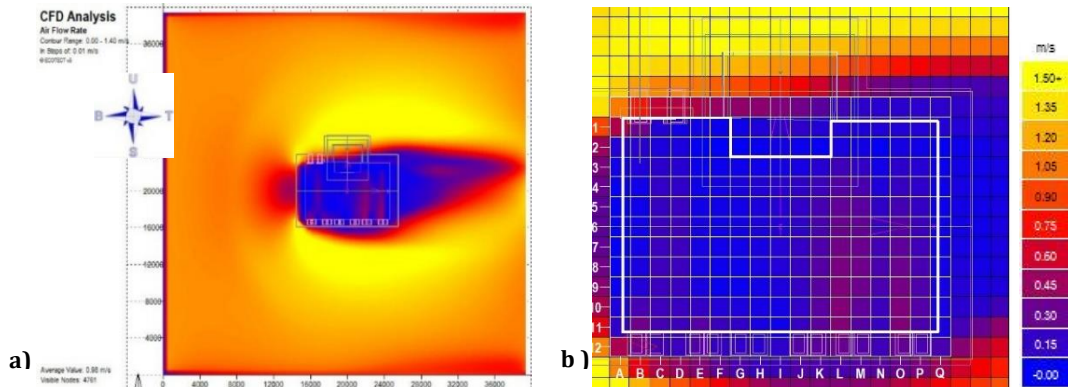
#### 4.3. Analisa dan Pembahasan

Analisa dan pembahasan hasil simulasi pemodelan CFD pada objek penelitian ini akan dibagi ke dalam 2 (dua) pemodelan yaitu berdasarkan:

##### 4.3.1. Pemodelan Ke-01 (Fasad Utara Menghadap ke Barat)

Adapun hasil simulasi pemodelan CFD ke-01 untuk Kecepatan Udara (m/dt) dan Gerakan Aliran Udara ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil Simulasi Kecepatan Udara Pemodelan CFD Ke-01  
Berikut ini adalah hasil simulasi pemodelan CFD untuk Kecepatan Udara:



Catatan: ukuran 1 grid pixel 0,58 m x 0,58 m = 0,3364 m<sup>2</sup> (hasil simulasi pemodelan CFD)

**Gambar 14.** a) Hasil Simulasi, b) *Grid Pixel* Kecepatan Udara Pemodelan CFD Ke-01.

## 2. Analisa Kecepatan Udara Ruang Interior Pemodelan CFD Ke-01

Setelah dilakukan identifikasi terhadap grid pixel pada Gambar 14, maka langkah selanjutnya adalah memberikan nilai pada setiap grid pixel tersebut berdasarkan 11 (sebelas) kategori *grade pixel* kecepatan udara.

**Tabel 1. 7.** Matriks Pixel Kecepatan Udara Pemodelan **Tabel 1. 8.** Jumlah Kecepatan Udara Interior

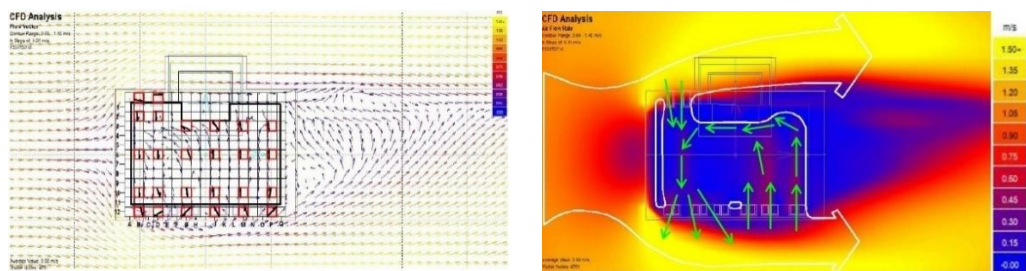
TITIK 'PIXEL	Outlet			Tengah Ruang									Inlet		
	Ext		Int	Interior									Int		Ext
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
A	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05		
B	0,45	0,45	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,90		
C	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,75		
D	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,75		
E	0,45	0,30	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75		
F	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60		
G	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60		
H	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,60		
I	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,45		
J	0,45	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,45		
K	0,45	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,30		
L	0,45	0,60	0,60	0,45	0,45	0,45	0,45	0,30	0,30	0,30	0,15	0,00	0,00		
M	0,45	0,30	0,30	0,45	0,45	0,45	0,30	0,30	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00		
N	0,15	0,15	0,15	0,30	0,30	0,30	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
O	0,45	0,60	0,60	0,45	0,45	0,30	0,30	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00		
P	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00		
Q	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Kec. Rata-rata	0,32	0,22	0,18	0,16	0,16	0,15	0,13	0,11	0,1	0,07	0,0	0,0	3,04		

No	Pixel	Kriteria Pixel Rg. Interior				TOTAL (m <sup>2</sup> )
		Kec (m/dt)	Luas/Pixel	Jlh Pixel	Jlh Kec (Cx Dx E)	
A	B	C	D	E	F	J
					(Cx Dx E)	D(E+G+I)
1		1,50	0,3364	0	0,000	0,000
2		1,35	0,3364	0	0,000	0,000
3		1,20	0,3364	0	0,000	0,000
4		1,05	0,3364	0	0,000	0,000
5		0,90	0,3364	0	0,000	0,000
6		0,75	0,3364	0	0,000	0,000
7		0,60	0,3364	4	0,807	1,346
8		0,45	0,3364	11	1,665	3,700
9		0,30	0,3364	23	2,321	7,737
10		0,15	0,3364	57	2,876	19,175
11		0,00	0,3364	56,60	0,000	19,040
Jumlah				151,60	7,669	50,998
Kec. Rata-rata					0,150	

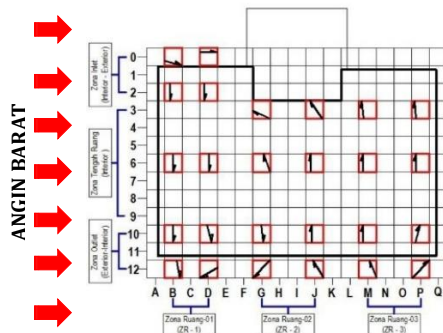
Pada Tabel I.8 dapat dilihat hasil rekapitulasi kecepatan udara rata-rata di dalam ruang interior berdasarkan Matriks Pixel pada Tabel I.7. dan Tabel I.8 diatas dapat dijelaskan bahwa kecepatan udara rata-rata yang masuk ke dalam ruang interior adalah 0,150 m/dt, menurut Tabel I.6, maka kecepatan udara interior ini masuk dalam kategori **Nyaman, Tanpa Dirasakan Adanya Gerakan Udara**.

## 3. Hasil Simulasi Gerakan Aliran Udara Pemodelan CFD Ke-01

Berikut adalah hasil simulasi pemodelan CFD Ke-01 untuk Gerakan Aliran Udara:



**Gambar 15.** Pola Gerakan Udara Hasil Simulasi Pemodelan CFD Ke-01 (Fasad Utara Menghadap Barat)



Titik 'Ukur	Outlet		Tengah Ruang Interior		Inlet	
	Ext 12	Int 10	6	3	Int 2	Ext 0
B	Kec. Udara (m/dt)	0,45	0,15	0,00	0,00	0,90
	Arah alir udara	+80°	+90°	+90°	+90°	+15°
D	Kec. Udara (m/dt)	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
	Arah alir udara	+150°	+75°	+90°	+90°	0°
G	Kec. Udara (m/dt)	0,15	0,15	0,00	0,00	
	Arah alir udara	+135°	+85°	-110°	-155°	
J	Kec. Udara (m/dt)	0,45	0,15	0,15	0,15	
	Arah alir udara	-120°	-90°	-90°	-125°	
M	Kec. Udara (m/dt)	0,45	0,30	0,30	0,15	
	Arah alir udara	-110°	-90°	-90°	-95°	
P	Kec. Udara (m/dt)	0,30	0,30	0,15	0,15	
	Arah alir udara	-45°	-75°	-90°	-95°	

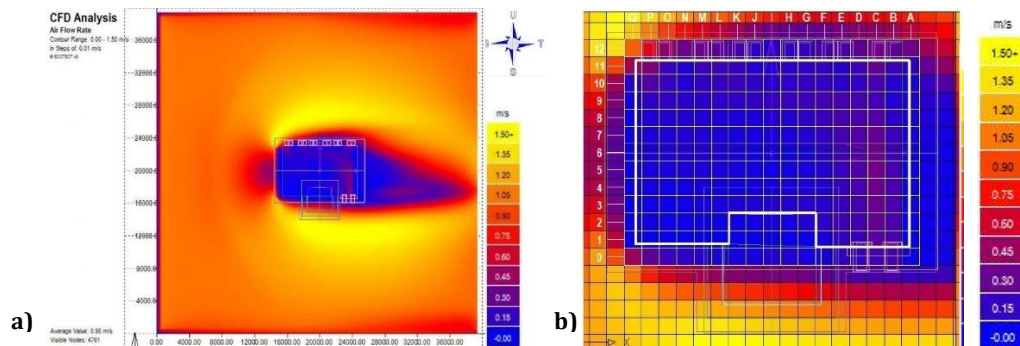
Gambar 16. Matriks Pola Gerakan Aliran Udara & Kecepatan Udara (Fasad Utara Menghadap Barat)

- Analisa Gerakan Aliran Udara Ruang Interior Pemodelan CFD Ke-01  
Dari gambar diatas dapat dijelaskan, walaupun angin input berhembus ke arah bidang yang tidak memiliki lubang ventilasi, aliran udara tetap masuk ke dalam ruang interior memlalui 2 (dua) lubang inlet di lintasan B dan D serta 6 (enam) lubang outlet pada sisi samping bangunan di lintasan J, M dan P (lihat Gambar 15 dan Gambar 16).

#### 4.3.2. Pemodelan Ke-02 (Fasad Selatan Menghadap ke Barat)

Adapun hasil simulasi pemodelan CFD untuk Kecepatan Udara (m/dt) dan Gerakan Aliran Udara adalah pada Pemodelan CFD yang Ke-02 ini adalah sebagai berikut:

- Hasil Simulasi Kecepatan Udara Pemodelan CFD Ke-02  
Berikut ini adalah hasil simulasi pemodelan CFD Ke-02 untuk Kecepatan Udara:



Catatan: ukuran 1 grid pixel 0,58 m x 0,58 m = 0,3364 m<sup>2</sup> (hasil simulasi pemodelan CFD)

Gambar 17. a) Hasil Simulasi, b) Grid Pixel Kecepatan Udara Pemodelan CFD Ke-02

- Analisa Kecepatan Udara Ruang Interior Pemodelan CFD Ke-02  
Setelah dilakukan identifikasi terhadap grid pixel pada Gambar 17 maka langkah selanjutnya adalah memberikan nilai pada setiap grid pixel tersebut berdasarkan 11 (sebelas) kategori *grade pixel* kecepatan udara dari hasil simulasi pemodelan CFD. Pada Tabel I.9 dapat dilihat hasil rekapitulasi kecepatan udara rata-rata di dalam ruang interior berdasarkan Matriks Pixel pada Tabel I.9 dan Tabel I.10 diatas dapat dijelaskan bahwa kecepatan udara rata-rata yang masuk ke dalam ruang interior adalah 0,121 m/dt, menurut Tabel I.6, maka kecepatan udara interior ini masuk dalam kategori **Nyaman, Tanpa Dirasakan Adanya Gerakan Udara**.



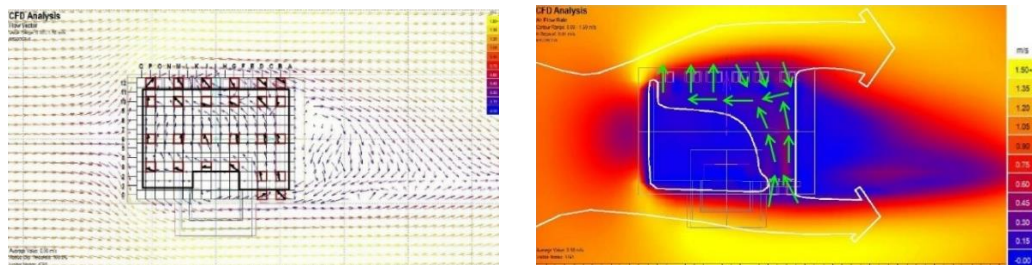
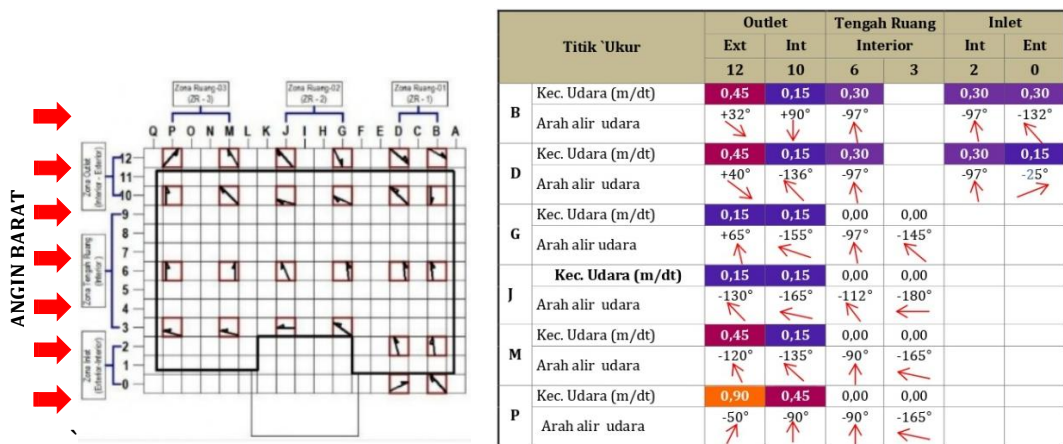
**Tabel 1. 9.** Matriks Pixel Kecepatan Udara Pemodelan

TITIK 'PIXEL	Outlet			Tengah Ruang									Inlet		
	Ext		Int	Interior									Int	Ext	
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0		
A	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15		
B	0,45	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30		
C	0,45	0,45	0,30	0,30	0,30	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,30	0,30		
D	0,45	0,15	0,15	0,15	0,15	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,15		
E	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15		
F	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15		
G	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00			0,15		
H	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,15		
I	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,15		
J	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,15		
K	0,15	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,15		
L	0,30	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15		
M	0,45	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15		
N	0,45	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15		
O	0,60	0,15	0,15	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15		
P	0,90	0,45	0,30	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30		
Q	0,90	0,45	0,30	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45		
Kec. Rata-rata	0,38	0,19	0,17	0,15	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,0	0,0	0,19		

**Tabel 1. 10.** Jumlah Kecepatan Udara Interior

No	Pixel	Kriteria Pixel Rg. Interior				TOTAL (m <sup>2</sup> )
		Kec (m/dt)	Luas/ Pixel	Jlh Pixel	Jlh Kec (m/dt)	
A	B	C	D	E	F	J
					(CxDxE)	D(E+G+I)
1		1,50	0,3364	0	0,000	0,000
2		1,35	0,3364	0	0,000	0,000
3		1,20	0,3364	0	0,000	0,000
4		1,05	0,3364	0	0,000	0,000
5		0,90	0,3364	0	0,000	0,000
6		0,75	0,3364	0	0,000	0,000
7		0,60	0,3364	0	0,000	0,000
8		0,45	0,3364	9	1,362	3,028
9		0,30	0,3364	18	1,817	6,055
10		0,15	0,3364	59	2,977	19,848
11		0,00	0,3364	65,60	0,000	22,068
Jumlah				151,60	6,156	50,999
Kec. Rata-rata					0,121	

3. Hasil Simulasi Gerakan Aliran Udara Pemodelan CFD Ke-02  
Berikut adalah hasil simulasi pemodelan CFD Ke-02 untuk Gerakan Aliran Udara:

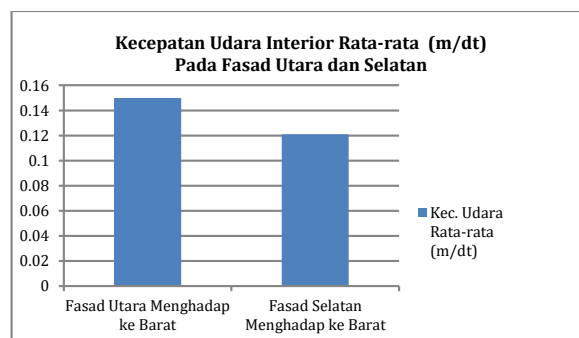
**Gambar 17.** Hasil Simulasi Gerakan Aliran Udara (Fasad Selatan Menghadap ke Barat).**Gambar 18.** Matriks Pola Gerakan Aliran Udara & Kecepatan Udara (Fasad Selatan Menghadap ke Barat)

4. Analisa Gerakan Aliran Udara Ruang Interior Pemodelan CFD Ke-02  
Dari Gambar 17 dapat dijelaskan, walaupun angin input berhembus ke arah bidang yang tidak memiliki lubang ventilasi, aliran udara tetap masuk ke dalam ruang interior melalui 2 (dua) lubang inlet di lintasan B dan D serta 6 (enam) lubang outlet pada sisi samping bangunan di lintasan B, D dan G (Gambar 17 dan 18).
5. Rekapitulasi Kecepatan Dan Pola Gerakan Aliran Udara  
Berikut ini disampaikan hasil rekapitulasi kecepatan dan pola gerakan aliran udara yang terjadi di dalam ruang interior dari 2 (dua) pemodelan orientasi fasad bangunan Ruang Pertemuan:

**Tabel 1. 11.** Profil kecepatan udara interior dari 2 (dua) Fasad Selubung

NO	BIDANG FASAD	KEC. UDARA RATA-RATA (m/dt)	SENSASI KECEPATAN UDARA
1	Fasad Utara Menghadap Ke Barat	0,150	Nyaman, tanpa terasa gerakan udara
2	Fasad Selatan Menghadap Ke Barat	0,121	Nyaman, tanpa terasa gerakan udara

Dari Tabel I.11 diatas dapat disampaikan bahwa Pemodelan CFD pada fasad Utara dan fasad Selatan yang diorientasikan ke arah sumber Angin Dominan (Angin Barat) mengalirkan kecepatan dan sensasi udara pada ruang interior yang relatif sama, yaitu **Nyaman, Tanpa Terasa Gerakan Udara** (Tabel I.6).

**Gambar 19.** Grafik kecepatan udara interior dari 2 (dua) Fasad Utara dan Selatan**Tabel 1. 12.** Rekapitulasi Gerakan Aliran Udara dan Kecepatan Udara Interior

No	ORIENTASI SELUBUNG TERHADAP SUMBER ANGIN INLET (Barat)	POLA GERAKAN ALIRAN UDARA DAN KECEPATAN UDARA (m/dt)
	<b>Fasad Utara Menghadap Ke Arah Barat:</b> 	Kecepatan udara interior 0,150 m/dt (Nyaman, tanpa terasa gerakan udara) 
	<b>Fasad Selatan Menghadap Ke Arah Barat:</b> 	Kecepatan udara interior 0,121 m/dt (Nyaman, tanpa terasa gerakan udara) 

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi pemodelan CFD pada objek penelitian Ruang Pertemuan UPTD Pertanian di Kampung Kwadeware Distrik Waibu Kabupaten Jayapura ini

dengan menggunakan program simulasi pemodelan CFD Ecotect 2011 dan program *plug in* Windair V1.4b 2007 maka dapat disimpulkan :

1. Dengan menggunakan alat perhitungan simulasi pemodelan CFD pada bangunan Ruang Pertemuan yang menggunakan jendela jungkit 30°, maka ditemukan bahwa orientasi bangunan pada fasad Utara dan fasad Selatan yang diorientasikan ke arah sumber Angin Dominan (Angin Barat) mengalirkan kecepatan dan sensasi udara pada ruang interior yang relatif sama, yaitu 0,121 m/dt sd 0,150 m/dt dan di kategorikan Nyaman, Tanpa Terasa Gerakan Udara (Tabel I.6).
2. Walaupun aliran angin dominan (*input*) berhembus ke bidang bangunan yang tidak memiliki lubang ventilasi, aliran udara tetap mengalir masuk ke dalam ruang interior melalui lubang ventilasi yang terletak pada sisi-sisi samping bangunan walaupun kecepatan udara interior tidak memenuhi standar Sensasi yang disyaratkan, yaitu **Nyaman dengan Gerakan Udara Terasa**.

## 6. REKOMENDASI.

Direkomendasi untuk penenlitan lanjut :

1. Perlu untuk diamati profil kecepatan dan gerakan aliran udara interior dari sumber angin inlet yang sama (dari arah Barat) dengan 8 (delapan) pemodelan orientasi fasad bangunan (Barat Daya, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat, Barat Laut, Utara, Barat Daya Laut), yang sudah dilakukan fasad Timur, Barat, dan fasad Utara dan Selatan penelitian saat ini.
2. Perlu untuk diamati profil kecepatan dan pola gerakan udara pada bidang vertikal pada koordinat/bidang yang berbeda. Hal ini didukung karena adanya ventilasi jendela yang memiliki 3 (tiga) lubang ventilasi sekaligus (bawah, tengah dan atas) yang terletak di salah satu sisi selubung bangunan ini yaitu di sisi Barat.

## DAFTAR PUSTAKA DAN PENULISAN PUSTAKA

- bestconverter. (2023, september saturday). *bestconverter.org/*. Retrieved September saturday, 2016
- Harianja, B., Prianto, E., & Setiabudi, W. (2016). Studi CFD Dan In-Situ Terhadap Gerakan Udara Interior Dari Efek Pilihan Model Jendela Jungkit. *PPKM III (2016)*, 287-300.
- Harianja, B., Prianto, E., & Setiabudi, W. (2016). *Validasi Antara Pengukuran In-Situ dan Program Simulasi CFD Terhadap Hubungan Orientasi Bangunan Dengan Jendela Jungkit 30° dan Arah Datang Angin*. Semarang: Program Studi Magister Arsitektur Universitas Diponegoro.
- Harianja, B., Prianto, E., & Setiabudi, W. (2023). Efek Model Jendela Jungkit 30° Terhadap Gerakan Udara Bangunan Berorientasi Barat Dan Timur. *Jurnal Cyclops, eknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Yapis Papua*, ISSN : 2987-5714.
- ISO, 2. (1975). *Standard Atmosfer*. Switzerland: International Organkation Standardkation.
- Kindangen, J. (2003). Pengaruh Tipe Jendela Terhadap Pola Aliran Udara dalam Ruang. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 158-162.
- Kindangen, J. (2005). Investigasi Pola Aliran Udara Dalam Bangunan Bertingkat Akibat Pengaruh Penghalang Di Depan Dan Di Belakangnya. *Dimensi Teknik Arsitektur, Vol. 33, No. 1, Desember 2005*, 172-176.
- Latif, S. (2 November 2020). Sistem Ventilasi Alami Satu Sisi Pada Kamar Ko Dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD). *Jurnal Permukiman Vol. 15*, 95 – 106.
- Latif, S. (2020). Sistem Ventilasi Alami Satu Sisi pada Kamar Kos dengan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD). *urnal Permukiman Vol. 15 No. 2 November 2020*., 95 – 106.
- Lippsmeier, G. (1994). *Bangunan Tropis*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Prianto, E. (2002). Modelisation des Ecoulements et analyse architecturale e performance de l'espace habitable en climat tropical humide, these de Doctoral. *Universite de Nantes & Ecole Polytechnique de L'Universite de Nantes*, 124 p.



- Prinato, E. (2002). Alternatif desain arsitektur daerah tropis lembab dengan pendekatan kenyamanan termal. *Dimensi Teknik Arsitektur*, Vol 30.
- sangkertadi, & suryono. (desember 2001). Mengestimasi koefisien bukaan Cd pada jendela bangunan tinggi dengan bantuan simulasi CFD. *dimensi teknik arsitektur vo. 29 no. 2*, 147-150.
- Sangkertadi, & Suryono. (desember 2001). Mengestimasi koefisien bukaan Cd pada jendela bangunan tinggi dengan bantuan simulasi CFD. *dimensi teknik arsitektur vo. 29 no. 2*, 147-150.
- White, F. M. (1986). *Mekanika Fluida*. Jakarta: Penerbit Erlangga.