

TESIS

**EVALUASI *WINDCATCHER* UNTUK VENTILASI ALAMI DI GEDUNG
BALAIKOTA 10 LANTAI TANPA VOID**



**UNIVERSITAS
ATMA JAYA YOGYAKARTA**
serviens in lumine veritatis

Suyento

No. Mhs.: 245420029

PROGRAM STUDI MAGISTER ARSITEKTUR

DEPARTEMEN ARSITEKTUR

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

2025



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER ARSITEKTUR

PERSETUJUAN TESIS

Nama : SUYENTO
Nomor Mahasiswa : 245420029
Konsentrasi : UBTA (Urban and Building Technology in Architecture)
Judul Tesis : Evaluasi *Windcatcher* untuk ventilasi alami di Gedung Balaikota 10
lantai tanpa void

Dosen Penguji

Tanggal

Tanda Tangan

1. Andi Prasetyo Wibowo,
S.T., M.Eng., Ph.D

19.01.2026



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI MAGISTER ARSITEKTUR

PENGESAHAN TESIS

Nama : SUYENTO

Nomor Mahasiswa : 245420029

Konsentrasi : UBTA (Urban and Building Technology in Architecture)

Judul Tesis : Evaluasi *Windcatcher* untuk ventilasi alami di Gedung Balaikota 10 lantai tanpa void

Dosen Penguji

Tanggal

Tanda Tangan

1. Andi Prasetyo Wibowo,
S.T., M.Eng., Ph.D

12 Januari 2026

2. Prof. Ir. Prasasto Satwiko,
M.B.Sc., Ph.D.

12 Januari 2026

3. Dr. Ir. A. Djoko Istiadji,
M.Sc.Bld.Sc.

14 Januari 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Arsitektur



FAKULTAS
TEKNIK

Khaerunnisa, S.T., M.Eng., Ph.D

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul:

“Evaluasi *Windcatcher* Untuk Ventilasi Alami di Gedung Balaikota 10 Lantai Tanpa Void”

Benar-benar merupakan karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tesis ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tesis ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Magelang, 19 Januari 2026

Yang membuat pernyataan,



(Suyento)

NIM: 245420029

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
INTISARI.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xii
GLOSARIUM.....	xiii
NOMENKLATUR.....	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Keaslian Penelitian.....	6
1.7 Kerangka Berpikir Penelitian.....	12
1.8 Sistematika Penulisan.....	15
BAB II.....	18
TINJAUAN PUSTAKA.....	18
2.1 Ventilasi Alami pada Bangunan.....	18
2.1.1 Mengapa Ventilasi Alami.....	18
2.1.2 Prinsip Dasar Ventilasi Alami.....	20
2.1.3 Strategi Efektif untuk Ventilasi Alami.....	25
2.1.4 Ventilasi Alami pada Bangunan Tinggi.....	34
2.1.5 Ventilasi Alami pada Bangunan Tinggi Tanpa Void.....	36
2.2 Teknologi <i>Windcatcher</i>	39
2.2.1 <i>Tower Windcatcher</i>	46
2.2.2 Faktor-Faktor Penting dalam Desain <i>Windcatcher</i>	48
2.3 Teknologi <i>Solar Chimney</i>	54
2.4 Kombinasi <i>Windcatcher</i> dan <i>Solar Chimney</i>	61
2.5 Simulasi CFD untuk Evaluasi Kinerja <i>Windcatcher</i>	72

BAB III	80
METODOLOGI PENELITIAN.....	80
3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian.....	80
3.2 Data Iklim.....	82
3.3 Konfigurasi <i>Windcatcher</i> sebagai Objek Simulasi	88
3.4 Proses Simulasi	99
3.4.1 <i>Pre-Processing</i>	103
3.4.2 <i>Calculation</i>	120
3.4.3 <i>Post-Processing</i>	124
BAB IV	133
WILAYAH PENELITIAN	133
4.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian	133
4.2 Karakteristik Fisik dan Lingkungan Binaan	134
4.3 Karakteristik <i>Microclimate</i>	134
4.4 Aspek Sosial, Budaya, dan Ekologis	142
4.5 Konteks Historis dan Perkembangan Kawasan	143
4.6 Tantangan Aktual di Lingkungan Lokasi.....	143
4.7 Tantangan Penerapan Sistem Ventilasi Alami.....	145
4.8 Potensi dan Peluang Pengembangan Arsitektur Berkelanjutan	146
BAB V.....	148
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	148
5.1 Analisis Angin Kawasan	148
5.2 Efektivitas Modul Solusi Individu (Hanya Mengandalkan <i>Windcatcher</i>).....	162
5.3 Efektivitas Penerapan Kombinasi <i>Windcatcher</i> dan <i>Solar Chimney</i>	171
5.4 Performa Kombinasi <i>Windcatcher</i> dan <i>Solar Chimney</i> di Dalam Ruangan Utama Kantor	190
5.5 <i>Air Changes per Hour</i> (ACH).....	211
BAB VI	215
KESIMPULAN	215
DAFTAR PUSTAKA	220

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Penelitian Terdahulu yang Relevan	7
Tabel 2. 1 Beberapa Kemungkinan <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> area Bukaannya	27
Tabel 2. 2 Rekomendasi Desain Geometrik TWC	47
Tabel 2. 3 Kriteria Desain Solar Chimney	68
Tabel 3. 1 Input Data Simulasi	87
Tabel 3. 2 Parameter PMV Method	128
Tabel 3. 3 Standar Nilai ACH	130
Tabel 5. 1 Hasil Perhitungan ACH pada 3 Lantai	211

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka Berpikir Penelitian	12
Gambar 2. 1 Ilustrasi Ventilasi Silang	25
Gambar 2. 2 Efektivitas Penghawaan Alami Satu Sisi dan Silang	26
Gambar 2. 3 Ilustrasi Ventilasi Satu Sisi	28
Gambar 2. 4 Ilustrasi Stack Ventilation	30
Gambar 2. 5 Ilustrasi Windcatcher.....	40
Gambar 2. 6 Ilustrasi Komponen Windcatcher.....	48
Gambar 2. 7 Ilustrasi Solar Chimney	54
Gambar 3. 1 Alat Rekam Data Cuaca	82
Gambar 3. 2 Data Pengukuran Lapangan (Kecepatan Angin, Suhu, dan Radiasi).....	87
Gambar 3. 3 Model Eksisting.....	89
Gambar 3. 4 Model Modul Solusi Individu (Single TWC)	90
Gambar 3. 5 Model Kombinasi TWC-SC.....	91
Gambar 3. 6 Objek Simulasi TWC	92
Gambar 3. 7 Objek Simulasi Solar Chimney.....	95
Gambar 3. 8 Diagram Ringkas Alur Proses Simulasi CFD dalam Penelitian	99
Gambar 3. 9 Alur Simulasi Penelitian	102
Gambar 3. 10 Pembuatan Objek 3D Simulasi	104
Gambar 3. 11 Pengaturan Material Beton.....	105
Gambar 3. 12 Pengaturan Material Kaca	106
Gambar 3. 13 Pengaturan Material Aluminium.....	106
Gambar 3. 14 Pengaturan Material Udara.....	107
Gambar 3. 15 Bounding Box	108
Gambar 3. 16 Profil Angin.....	111
Gambar 3. 17 Solar Heating Dialog.....	112
Gambar 3. 18 Output Radiation Heat Loads by Part ID	113
Gambar 3. 19 Pengaturan Solver	115
Gambar 3. 20 Isometrik Perwakilan Analisis Lantai	125
Gambar 3. 21 Denah Interior Lantai 1, 5, dan 10	127
Gambar 3. 22 Rentang Suhu Operatif yang Dapat Diterima Berdasarkan Kecepatan Angin Hasil Simulasi	129
Gambar 3. 23 Ilustrasi Posisi Duduk Manusia.....	132
Gambar 3. 1 Alat Rekam Data Cuaca	82
Gambar 3. 2 Data Pengukuran Lapangan (Kecepatan Angin, Suhu, dan Radiasi).....	87
Gambar 3. 3 Model Eksisting.....	89
Gambar 3. 4 Model Modul Solusi Individu (Single TWC)	90
Gambar 3. 5 Model Kombinasi TWC-SC.....	91
Gambar 3. 6 Objek Simulasi TWC	92
Gambar 3. 7 Objek Simulasi Solar Chimney.....	95

Gambar 3. 8 Diagram Ringkas Alur Proses Simulasi CFD dalam Penelitian	99
Gambar 3. 9 Alur Simulasi Penelitian	102
Gambar 3. 10 Pembuatan Objek 3D Simulasi	104
Gambar 3. 11 Pengaturan Material Beton.....	105
Gambar 3. 12 Pengaturan Material Kaca	106
Gambar 3. 13 Pengaturan Material Aluminium.....	106
Gambar 3. 14 Pengaturan Material Udara.....	107
Gambar 3. 15 Bounding Box	108
Gambar 3. 16 Profil Angin.....	111
Gambar 3. 17 Solar Heating Dialog.....	112
Gambar 3. 18 Output Radiation Heat Loads by Part ID	113
Gambar 3. 19 Pengaturan Solver	115
Gambar 3. 20 Isometrik Perwakilan Analisis Lantai	125
Gambar 3. 21 Denah Interior Lantai 1, 5, dan 10	127
Gambar 3. 22 Rentang Suhu Operatif yang Dapat Diterima Berdasarkan Kecepatan Angin Hasil Simulasi	129
Gambar 3. 23 Ilustrasi Posisi Duduk Manusia.....	132
 Gambar 4. 1 Lokasi Gedung 10 Lantai Kantor Balai Kota Magelang.....	134
Gambar 4. 2 Kecepatan Angin Rata-rata di Kota Magelang	135
Gambar 4. 3 Rata-rata Suhu Tertinggi dan Terdingin di Kota Magelang.....	136
Gambar 4. 4 Arah Angin di Kota Magelang	137
Gambar 4. 5 Tingkat Kenyamanan Kelembaban di Kota Magelang	138
Gambar 4. 6 Peluang Presipitasi Harian di Kota Magelang	139
Gambar 4. 7 Rata-rata Curah Hujan Bulanan di Kota Magelang	141
 Gambar 5.1 Letak Bangunan Kantor dan Bangunan Sekitar yang Menjadi Penghalang Distribusi Angin	148
Gambar 5.2 Hasil Simulasi Angin Kawasan.....	150
Gambar 5. 3 Hasil Simulasi Modul Solusi Individu	162
Gambar 5.4 Potongan Vertikal Kombinasi Windcatcher dan Solar Chimney....	171
Gambar 5. 5 Perbandingan Antara Modul Solusi Individu dan TWC-SC.....	178
Gambar 5. 6 Hasil Simulasi Interior Lantai 1 (Zona Potensi 1).....	190
Gambar 5. 7 Hasil Simulasi Interior Lantai 1 (Zona Potensi 2).....	190
Gambar 5. 8 Hasil CBE Lantai 1 (Zona Potensi 1).....	192
Gambar 5. 9 Hasil CBE Lantai 1 (Zona Potensi 2).....	193
Gambar 5. 10 Hasil Simulasi Interior Lantai 5 (Zona Potensi).....	200
Gambar 5. 11 Hasil CBE Lantai 5 (Zona Potensi).....	202
Gambar 5. 12 Hasil Simulasi Interior Lantai 5 (Zona Potensi).....	206
Gambar 5. 13 Hasil CBE Lantai 10 (Zona Potensi).....	209
 Gambar 5.1 Letak Bangunan Kantor dan Bangunan Sekitar yang Menjadi Penghalang Distribusi Angin	148
Gambar 5.2 Hasil Simulasi Angin Kawasan.....	150
Gambar 5. 3 Hasil Simulasi Modul Solusi Individu	162
Gambar 5.4 Potongan Vertikal Kombinasi Windcatcher dan Solar Chimney....	171

Gambar 5. 5 Perbandingan Antara Modul Solusi Individu dan TWC-SC.....	178
Gambar 5. 6 Hasil Simulasi Interior Lantai 1 (Zona Potensi 1).....	190
Gambar 5. 7 Hasil Simulasi Interior Lantai 1 (Zona Potensi 2).....	190
Gambar 5. 8 Hasil CBE Lantai 1 (Zona Potensi 1).....	192
Gambar 5. 9 Hasil CBE Lantai 1 (Zona Potensi 2).....	193
Gambar 5. 10 Hasil Simulasi Interior Lantai 5 (Zona Potensi).....	200
Gambar 5. 11 Hasil CBE Lantai 5 (Zona Potensi).....	202
Gambar 5. 12 Hasil Simulasi Interior Lantai 5 (Zona Potensi).....	206
Gambar 5. 13 Hasil CBE Lantai 10 (Zona Potensi).....	209

INTISARI

Penelitian ini mengevaluasi kinerja sistem ventilasi alami berbasis *Windcatcher* pada gedung perkantoran bertingkat tanpa void, dengan studi kasus Gedung Balai Kota Magelang setinggi 10 lantai. Ketiadaan ruang sirkulasi vertikal alami pada bangunan tersebut menimbulkan tantangan distribusi udara sehingga hanya mengandalkan ventilasi mekanis yang berdampak masif pada penggunaan energi. Studi ini bertujuan mengevaluasi menganalisis mekanisme integrasi *Tower Windcatcher* (TWC) dan *solar chimney* (SC) sebagai strategi pasif terhadap peningkatan distribusi serta laju pertukaran udara alami. Metode yang digunakan adalah simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan pendekatan non-isothermal berbasis model RANS pada Autodesk CFD untuk merepresentasikan interaksi antara ventilasi berbasis tekanan angin dan gaya apung termal. Adapun penerapan TWC-SC ditetapkan satu skema yakni dengan rasio 2:4 sebagai dasar parameter desain. Analisis kinerja ventilasi dilakukan berdasarkan tiga indikator utama, yaitu kecepatan angin, pola aliran udara, dan *Air Change per Hour* (ACH) dengan fokus pada perbedaan karakteristik aliran di zona bawah (lantai 1), tengah (lantai 5), dan atas bangunan (lantai 10). Penerapan kombinasi TWC-SC juga dibandingkan dengan modul solusi individu (*single TWC*) guna mengukur efektivitasnya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *single TWC* belum mampu memenuhi kriteria kenyamanan termal secara menyeluruh. Sebaliknya, kombinasi TWC-SC menunjukkan peningkatan signifikan pada ketiga indikator performa ventilasi. Secara spesifik, lantai 1 memiliki suhu relatif lebih rendah namun kecepatan udara terbatas; lantai 5 menunjukkan peningkatan kecepatan udara pada beberapa zona tetapi masih disertai suhu relatif tinggi; sedangkan lantai 10 memberikan kondisi paling optimal dari sisi kombinasi kecepatan udara dan temperatur, meskipun capaian kenyamanan belum merata secara spasial. Temuan ini menegaskan potensi sistem TWC-SC sebagai strategi ventilasi pasif pada bangunan bertingkat tanpa void di iklim tropis lembap, sekaligus membuka peluang pengembangan metodologi evaluasi berbasis integrasi simulasi CFD non-isothermal dan pendekatan kenyamanan termal untuk tipologi bangunan bertingkat lainnya.

Kata kunci: ventilasi alami; *Windcatcher*; *Solar Chimney*; CFD; efisiensi energi.

ABSTRACT

This study evaluates the performance of a windcatcher-based natural ventilation system in a high-rise office building without an internal void, using the ten-storey Magelang City Hall building as a case study. The absence of natural vertical air circulation pathways in such buildings poses significant challenges to air distribution, resulting in a heavy reliance on mechanical ventilation systems with substantial energy implications. This study aims to evaluate and analyze the integrated mechanism of a Tower Windcatcher (TWC) and a Solar Chimney (SC) as a passive strategy to enhance air distribution and natural air exchange rates. The research methodology employs Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations with a non-isothermal approach based on the Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) model using Autodesk CFD, to represent the interaction between wind-driven ventilation and buoyancy-driven (stack effect) ventilation. The TWC-SC configuration is implemented as a single design scheme with an inlet-outlet ratio of 2:4, defined as a fixed design parameter. Ventilation performance is evaluated using three primary indicators: air velocity, airflow patterns, and Air Change per Hour (ACH), with analyses focused on the lower (Level 1), middle (Level 5), and upper (Level 10) zones of the building. Simulation results indicate that the single TWC configuration is insufficient to achieve thermal comfort criteria across all building levels. In contrast, the combined TWC-SC system demonstrates significant improvements in all three ventilation performance indicators. Specifically, Level 1 exhibits relatively lower air temperatures but limited air velocities; Level 5 shows increased air velocities in certain zones accompanied by relatively higher temperatures; while Level 10 provides the most optimal combination of air velocity and temperature, although comfort conditions are not uniformly distributed across the entire floor area. These findings highlight the potential of the TWC-SC system as a passive ventilation strategy for high-rise buildings without voids in hot-humid tropical climates and suggest opportunities for further development of evaluation methodologies integrating non-isothermal CFD simulations and thermal comfort approaches for other high-rise building typologies.

Keywords: *natural ventilation; windcatcher; solar chimney; CFD; energy efficiency.*

GLOSARIUM

A

- *Air Changes per Hour (ACH)*: Laju pergantian udara dalam suatu ruang yang menyatakan berapa kali volume udara dalam ruangan digantikan oleh udara baru setiap jam.
- *Airflow Pattern* (Pola Aliran Udara): Distribusi dan arah pergerakan udara di dalam bangunan yang menunjukkan efektivitas sistem ventilasi.
- *Atmospheric Boundary Layer (ABL)*: Lapisan atmosfer terdekat dengan permukaan bumi yang dipengaruhi oleh gesekan permukaan dan kondisi topografi, menentukan profil kecepatan angin.

B

- *Buoyancy Effect / Stack Effect* (Efek Apung): Fenomena naiknya udara panas akibat perbedaan densitas udara, menjadi mekanisme utama pada *Solar Chimney*.

C

- *Computational Fluid Dynamics (CFD)*: Metode simulasi numerik berbasis komputasi untuk menganalisis perilaku aliran fluida, tekanan, dan temperatur udara.
- *Cross Ventilation* (Ventilasi Silang): Ventilasi alami yang terjadi akibat perbedaan tekanan antara bukaan masuk dan keluar pada sisi bangunan yang berbeda.

D

- *Ducting Vertikal*: Saluran vertikal yang berfungsi menyalurkan aliran udara antar lantai dalam bangunan bertingkat.

I

- *Inlet*: Bukaan atau elemen bangunan yang berfungsi sebagai jalur masuk udara segar.

K

- *Kecepatan Udara (Air Velocity)*: Kecepatan pergerakan udara di dalam ruangan yang berpengaruh langsung terhadap kenyamanan termal.

L

- *Pressure Loop*: Siklus tekanan lengkap yang memungkinkan udara masuk, mengalir melalui ruang, dan keluar secara kontinu.

M

- *Mikroklimat*: Kondisi iklim lokal di sekitar bangunan yang mencakup suhu, kelembapan, radiasi, dan kecepatan angin.

N

- *Non-Isothermal Simulation*: Simulasi CFD yang mempertimbangkan interaksi antara aliran udara dan temperatur.

O

- *Outlet*: Bukaan atau elemen bangunan yang berfungsi sebagai jalur keluarnya udara dari dalam bangunan.

P

- *Pressure Difference*: Selisih tekanan udara yang menjadi gaya pendorong utama aliran udara.

R

- *Ducting Vertikal RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes)*: Model turbulensi dalam CFD yang menggunakan pendekatan rata-rata waktu untuk memprediksi aliran turbulen.

S

- *Solar Chimney*: Sistem ventilasi vertikal yang memanfaatkan pemanasan radiasi matahari untuk meningkatkan efek apung udara.
- *Steady-State Condition*: Kondisi simulasi di mana parameter aliran dianggap konstan terhadap waktu.

T

- *Thermal Comfort (Kenyamanan Termal)*: Kondisi psikologis kepuasan manusia terhadap lingkungan termal.
- *Tower Windcatcher (TWC)*: Menara ventilasi pasif yang menangkap angin pada ketinggian dan menyalurkannya ke dalam bangunan

V

- *Ventilasi Alami*: Sistem penghawaan yang memanfaatkan gaya alamiah tanpa bantuan mekanis.
- *Ventilasi Vertikal*: Pergerakan udara antar lantai secara vertikal dalam bangunan bertingkat.

W

- *Wind-Driven Ventilation*: Ventilasi yang digerakkan oleh tekanan angin eksternal.

NOMENKLATUR

1. AKRONIM

ACH : *Air Changes per Hour* (laju pergantian udara per jam)
 ASHRAE : *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*
 ASHRAE 55 : Standar kenyamanan termal ruang dalam
 ASHRAE 62.1 : Standar ventilasi dan kualitas udara dalam ruang
 ABL : *Atmospheric Boundary Layer*
 CFD : *Computational Fluid Dynamics*
 DNS : *Direct Numerical Simulation*
 HVAC : *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*
 LES : *Large Eddy Simulation*
 PMV : *Predicted Mean Vote*
 RANS : *Reynolds-Averaged Navier-Stokes*
 SC : *Solar Chimney*
 SNI : Standar Nasional Indonesia
 TWC : *Tower Windcatcher*
 UTCI : *Universal Thermal Climate Index*

2. SIMBOL DAN PARAMETER FISIKA

A : Luas bukaan (m^2)
 ABLz : Profil ketinggian pada *Atmospheric Boundary Layer* (m)
 C_p : *Pressure coefficient* / koefisien tekanan (-)
 ΔP : Perbedaan tekanan udara (Pa)
 g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
 H : Ketinggian bangunan atau saluran (m)
 k : Energi kinetik turbulen (m^2/s^2)
 Q : Laju aliran udara (m^3/s)
 T : Temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$ atau K)
 ΔT : Perbedaan temperatur ($^{\circ}\text{C}$ atau K)
 t : Waktu simulasi (s)
 V : Volume ruang (m^3)
 v : Kecepatan udara (m/s)
 Vz : Kecepatan angin pada ketinggian z (m/s)
 z : Ketinggian dari permukaan tanah (m)
 ρ : Densitas udara (kg/m^3)
 μ : Viskositas dinamis udara ($\text{kg/m}\cdot\text{s}$)
 ε : Laju disipasi energi turbulen (m^2/s^3)

3. KOMPONEN KECEPATAN ALIRAN

Ux : Komponen kecepatan arah sumbu-x (horizontal) (m/s)
 Uy : Komponen kecepatan arah sumbu-y (horizontal) (m/s)
 Uz : Komponen kecepatan arah sumbu-z (vertikal) (m/s)