

SKRIPSI

**ANALISIS SIRKULASI UDARA PADA *BASEMENT*
GEDUNG MENGGUNAKAN APLIKASI SIMULASI
*CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I MADE SUKMA WIJAYA

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

SKRIPSI

**ANALISIS SIRKULASI UDARA PADA *BASEMENT*
GEDUNG MENGGUNAKAN APLIKASI SIMULASI
*CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)***



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

I MADE SUKMA WIJAYA
NIM. 2415264003

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA UTILITAS**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2025

ABSTRAK

Basement merupakan salah satu ruang tertutup yang membutuhkan sistem ventilasi efektif untuk menjaga kualitas udara, kenyamanan, dan keselamatan pengguna. Dua metode ventilasi yang umum digunakan adalah sistem ducting dan sistem jetfan, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan dalam hal distribusi udara, kebutuhan ruang, biaya, serta efisiensi operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja kedua sistem ventilasi pada ruang basement dengan pendekatan simulasi numerik.

Metode penelitian dilakukan melalui pemodelan tiga dimensi (3D) basement menggunakan Autodesk Inventor Student Version, kemudian dilanjutkan dengan simulasi aliran udara menggunakan ANSYS Fluent Student Version. Kondisi batas (boundary conditions) ditentukan berdasarkan data perhitungan debit udara, tekanan, serta asumsi teknis sesuai standar ventilasi (SNI dan ASHRAE). Simulasi dilakukan untuk dua konfigurasi, yaitu sistem ducting dan sistem jetfan, dengan tahapan pre-processing, solver, dan post-processing. Pada bidang analisis setinggi 1,7 m, parameter yang dievaluasi meliputi pola aliran, streamline, residual konvergensi, kecepatan udara, temperatur (bidang dan titik), serta fraksi massa polutan (CO, CO₂, NO₂).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua sistem mampu melakukan sirkulasi udara, namun jetfan menghasilkan kecepatan rata-rata lebih tinggi pada bidang (0,26 m/s) dibanding ducting (0,16 m/s), dengan pencampuran udara lebih intens. Dari sisi temperatur, jetfan justru memiliki suhu rata-rata lebih rendah (28,1 °C plane; 29,2 °C point) dibanding ducting (28,8 °C; 28,7 °C). Kombinasi suhu yang lebih rendah dan kecepatan lebih tinggi menempatkan jetfan pada zona kenyamanan termal ASHRAE 55 untuk aktivitas ringan dan pakaian ringan, dari aspek polutan, jetfan juga lebih efektif (CO 8,4e-05; CO₂ 0,016; NO₂ 5,04e-06) dibanding ducting (CO 8,8e-05; CO₂ 0,017; NO₂ 5,32e-06), maka pada penelitian ini sistem jetfan lebih baik dalam aspek kenyamanan termal dan pengenceran polutan, sedangkan sistem ducting lebih unggul dalam distribusi aliran yang terarah. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi perencana dan praktisi HVAC dalam memilih strategi ventilasi yang efektif dan efisien pada bangunan bertingkat dengan basement.

Kata kunci: ventilasi, basement, ducting, jetfan, simulasi CFD, ANSYS Fluent

ANALYSIS OF AIR CIRCULATION IN BUILDING BASEMENTS USING CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS) SIMULATION

ABSTRACT

Basements are enclosed spaces that require effective ventilation systems to maintain indoor air quality, comfort, and user safety. Two common ventilation methods are ducting systems and jetfan systems, each with advantages and disadvantages in terms of airflow distribution, spatial requirements, cost, and operational efficiency. This study aims to analyze the performance of both ventilation systems in a basement using a numerical simulation approach.

A three-dimensional basement model was developed using Autodesk Inventor Student Version, followed by airflow simulation using ANSYS Fluent Student Version. Boundary conditions were determined based on airflow rates, pressure, and technical assumptions according to SNI and ASHRAE standards. Simulations were performed for two configurations, namely the ducting system and the jetfan system, with stages including pre-processing, solver, and post-processing. The analysis focused on a plane at 1.7 m height (breathing zone), evaluating parameters such as airflow patterns, streamline, residual convergence, air velocity, temperature, and pollutant mass fractions (CO, CO₂, NO₂).

The results show that the jetfan system produced a higher average velocity (0.26 m/s) compared to ducting (0.16 m/s), with more intensive air mixing. In terms of temperature, the jetfan system achieved a lower average plane temperature (28.1 °C) compared to ducting (28.8 °C), while point temperatures were 29.2 °C and 28.7 °C, respectively. The combination of lower temperature and higher velocity placed the jetfan configuration within the ASHRAE 55 thermal comfort zone for light activity and light clothing. Regarding pollutants, the jetfan system was also more effective, with lower concentrations of CO (8.4e-05), CO₂ (0.016), and NO₂ (5.04e-06) compared to ducting (CO 8.8e-05; CO₂ 0.017; NO₂ 5.32e-06). In conclusion, the jetfan system is superior in terms of thermal comfort and pollutant dilution, while the ducting system provides more directed airflow distribution. These findings are expected to serve as a reference for HVAC planners and practitioners in selecting effective and efficient ventilation strategies for multi-storey buildings with basements.

Keywords: *ventilation, basement, ducting, jetfan, CFD simulation, ANSYS Fluent*

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Pengesahan oleh Pembimbing.....	ii
Persetujuan Dosen Penguji.....	iii
Pernyataan Bebas Plagiat	iv
Ucapan Terima Kasih.....	v
Abstrak dalam Bahasa Indonesia	vi
Abstract dalam Bahasa Inggris.....	vii
Kata Pengantar	viii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Lampiran	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II. LANDASAN TEORI	5
2.1 Standart Teknis yang Berlaku	5
2.2 Kenyamanan Termal dan Kualitas Udara	7
2.3 Definisi Ventilasi	8
2.3.1 Ventilasi alami.....	8
2.3.2 Ventilasi mekanikal	9
2.3.3 Konsep tekanan diferensial dan sirkulasi udara	10
2.3.4 Zonasi ventilasi di <i>basement</i>	10
2.4 Perencanaan Ventilasi pada <i>Basement</i>	11
2.5 Definisi Simulasi CFD	13
2.6 Tahapan Simulasi Fluida Pada CFD	14

2.6.1. <i>Pre Processor</i>	14
2.6.2. <i>Processor</i>	15
2.6.3. <i>Post – Processing</i>	16
2.5.3 Variasi <i>Meshing</i>	18
BAB III. METODE PENELITIAN	19
3.1 Jenis Penelitian.....	19
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	19
3.3 Diagram Alir Penelitian	21
3.4 Data Teknis Rencana Bangunan	22
3.4.1 Drawing 2D.....	22
3.4.2 Drawing 3D.....	23
3.5 Penentuan Sumber Data	24
3.5.1 Data primer	25
3.5.2 Data sekunder	25
3.6 <i>Pre-processing</i> CFD	26
3.6.1 Model 3D.....	26
3.6.2 Pembuatan <i>Mesh</i>	27
3.7 <i>Solver</i> CFD.....	28
3.7.1 Setup fisik	28
3.7.2 Kondisi batas (<i>boundary condition</i>)	29
3.8 <i>Post-processing</i> CFD	29
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Penentuan Input Data	31
4.1.1 Kebutuhan sirkulasi udara	32
4.1.2 Kecepatan aliran udara masuk <i>inlet diffuser</i> sistem ducting	32
4.1.3 Kecepatan aliran udara pintu <i>basement</i>	33
4.1.4 Kecepatan aliran udara <i>jetfan</i>	33
4.1.5 Sumber emisi kendaraan dalam basement.....	34
4.1.6 Sumber panas dan konduktivitas thermal.....	34
4.2 Pemodelan 3D	35
4.3 Simulasi Sistem Ventilasi dengan <i>Ducting</i>	39

4.3.1 <i>Pre-processor ducting</i>	39
4.3.2 <i>Solver ducting</i>	40
4.3.2 <i>Post-processing ducting</i>	41
4.4 Simulasi Sistem Ventilasi dengan <i>Jetfan</i>	42
4.4.1 <i>Pre-processor jetfan</i>	42
4.4.2 <i>Solver jetfan</i>	43
4.4.3 <i>Post-processing jetfan</i>	44
4.5 Hasil Simulasi	44
4.5.1 Hasil simulasi pada <i>outlet</i> akhir.....	45
4.5.2 Hasil simulasi dalam ruangan.....	48
4.6 Pembahasan Hasil	56
BAB V. PENUTUP	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	64

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi teknis bangunan	25
Tabel 3. 2 Tabel kondisi batas.....	29
Tabel 3. 3 Output data akhir yang dianalisis.....	30
Tabel 4. 1 Parameter input data	31
Tabel 4. 2 Tabel nilai emisi gas buang kendaraan	34
Tabel 4. 3 Tabel nilai konduktivitas thermal	34
Tabel 4. 4 Tabel nilai <i>heat generation</i>	35
Tabel 4. 5 Tabel perbandingan <i>Outlet</i> akhir.....	56
Tabel 4. 6 Tabel perbandingan hasil dalam ruangan.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi <i>stack effect</i> pada ventilasi alami	8
Gambar 2. 2 Ilustrasi ventilasi mekanikal.....	9
Gambar 2. 3 Gambar zonasi area parkir <i>basement</i>	10
Gambar 2. 4 Contoh stagnansi atau <i>deadzone area</i>	12
Gambar 3. 1 Lokasi rencana bangunan	20
Gambar 3. 2 Diagram alir penelitian.....	21
Gambar 3. 3 Denah 2D instalasi ducting	22
Gambar 3. 4 Denah 2D instalasi jetfan	23
Gambar 3. 5 Denah 3D instalasi ducting	23
Gambar 3. 6 Denah 3D instalasi jetfan	24
Gambar 3. 7 Denah 3D exterior jalan utama	24
Gambar 4. 1 Gambar 3D model tampilan <i>wireframe</i>	35
Gambar 4. 2 Gambar 3D model tampak bawah <i>ducting</i>	36
Gambar 4. 3 Gambar 3D model unit <i>jetfan</i>	37
Gambar 4. 4 3D model <i>assembly</i> ruangan dengan <i>ducting</i>	38
Gambar 4. 5 3D model <i>assembly</i> ruangan dengan <i>jetfan</i>	38
Gambar 4. 6 Hasil <i>import</i> ke ansys modeller	39
Gambar 4. 7 Hasil proses <i>meshing</i> sistem <i>ducting</i>	39
Gambar 4. 8 Hasil proses <i>named selection</i> sistem <i>ducting</i> pada <i>solver</i>	40
Gambar 4. 9 Hasil <i>residual</i> sistem <i>ducting</i>	41
Gambar 4. 10 Hasil <i>streamline</i> pada tampak atas sistem <i>ducting</i>	41
Gambar 4. 11 Hasil <i>import</i> ke ansys modeler	42
Gambar 4. 12 Hasil proses <i>meshing</i> sistem <i>jetfan</i>	42
Gambar 4. 13 Hasil proses <i>named selection</i> sistem <i>jetfan</i> pada <i>solver</i>	43
Gambar 4. 14 Hasil <i>residual</i> sistem <i>jetfan</i>	44
Gambar 4. 15 Hasil <i>streamline</i> pada tampak atas sistem <i>jetfan</i>	44
Gambar 4. 16 Hasil <i>vector</i> pada sistem <i>ducting</i>	45
Gambar 4. 17 <i>Output</i> parameter suhu dan <i>velocity</i> di titik keluar sistem <i>ducting</i>	45

Gambar 4. 18 <i>Output</i> parameter di titik keluar sistem <i>ducting</i>	45
Gambar 4. 19 Hasil <i>vector</i> pada sistem <i>jetfan</i>	46
Gambar 4. 20 <i>Output</i> parameter suhu dan <i>velocity</i> di titik keluar sistem <i>jetfan</i> ...	46
Gambar 4. 21 <i>Output</i> parameter di titik keluar sistem <i>jetfan</i>	47
Gambar 4. 22 Plane yang di atur pada ketinggian 1,7m	48
Gambar 4. 23 Titik pengukuran kecepatan udara 1,7m (a) <i>ducting</i> (b) <i>jetfan</i>	49
Gambar 4. 24 Titik pengukuran suhu pada 1,7m (a) <i>ducting</i> (b) <i>jetfan</i>	50
Gambar 4. 25 Profil kecepatan udara pada 1,7m (a) <i>ducting</i> (b) <i>jetfan</i>	51
Gambar 4. 26 Profil suhu ruangan pada 1,7m (a) <i>ducting</i> (b) <i>jetfan</i>	52
Gambar 4. 27 Profil konsentrasi polutan NO ₂ pada 1,7m (a) <i>ducting</i> (b) <i>jetfan</i> ...	53
Gambar 4. 28 Profil konsentrasi CO ₂ pada 1,7m (a) <i>ducting</i> (b) <i>jetfan</i>	54
Gambar 4. 29 Profil konsentrasi CO pada 1,7m (a) <i>ducting</i> (b) <i>jetfan</i>	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kebutuhan exhaust dari ASHRAE 62-1-2022	64
Lampiran 2. Kebutuhan ventilasi dari SNI 03-6572-2001	65
Lampiran 3. Ketentuan udara dari Permenkes 2 tahun 2023	66
Lampiran 4. Tabel kenyamanan termal ASHRAE 55-2017	67
Lampiran 5. Hasil evaluasi aplikasi dari CBE (ASHRAE 55-2023)	68
Lampiran 6. Gambar denah basement.....	69
Lampiran 7. Lembar bimbingan dosen pembimbing 1	70
Lampiran 8. Lembar bimbingan dosen pembimbing 2	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan perekonomian di Bali mulai berkembang dengan pesat sehingga pembangunan gedung baru penunjang ekonomi seperti *mall*, hotel, restoran, komplek hunian semakin banyak. Dengan keterbatasan lahan di Bali ditambah adanya Peraturan Daerah Provinsi Bali No.2 Tahun 2023 yang mengatur bahwa bangunan di Bali tidak boleh lebih tinggi dari 15 meter di atas permukaan tanah menjadi kendala dalam perencanaan gedung. Keterbatasan lahan di wilayah perkotaan mendorong pengembang untuk memanfaatkan ruang bawah tanah sebagai solusi efisiensi ruang, sehingga pembangunan *basement* menjadi pendekatan yang umum digunakan dalam desain gedung modern (Sutami & Pramono, 2019).

Basement merupakan salah satu bagian dari bangunan bertingkat yang umumnya digunakan sebagai area parkir, ruang utilitas, ruang staff *Back of House*, kantin atau fasilitas pendukung lainnya. Karena letaknya berada di bawah permukaan tanah, area *basement* memiliki keterbatasan dalam menerima aliran udara alami. Kondisi ini menjadikan sistem ventilasi mekanikal sebagai elemen yang sangat penting dalam menjaga kualitas udara dan kenyamanan lingkungan di dalam ruang *basement*. (Fauzan A, 2022). Ventilasi yang tidak memadai dapat menyebabkan akumulasi gas buang kendaraan bermotor seperti nitrogen oksida (NO_x), sulfur oksida (SO_x) karbon monoksida (CO) dan nitrogen dioksida (NO₂), yang berisiko terhadap kesehatan dan keselamatan pengguna ruang, jika kendaraan bermotor dalam jumlah banyak dan dalam keadaan mesin hidup maka semakin pekat polutan yang berada dalam ruangan *basement*. Oleh karena itu, perencanaan sistem sirkulasi udara pada *basement* harus dirancang secara optimal agar mampu mengalirkan udara segar dan membuang udara tercemar secara efektif dan efisien, (Hidayat R, 2022)

Dalam praktiknya, terdapat beberapa pendekatan sistem ventilasi mekanikal yang umum digunakan, antara lain sistem *ducting* penuh dan sistem *jet fan* dalam mengalirkan udara segar atau *fresh air* masuk ke area *basement* dan udara buang atau *exhaust air* yang harus dikeluarkan dari *basement*. Sistem *ducting* penuh menggunakan saluran udara (*duct*) yang didesain untuk mengalirkan udara secara terarah melalui jaringan saluran udara. Sementara itu, sistem *jet fan* mengandalkan aliran udara induksi yang dihasilkan oleh *jet fan* untuk mendorong sirkulasi udara secara menyeluruh tanpa menggunakan saluran panjang. Kedua sistem tersebut memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing, baik dari segi efisiensi aliran udara, kebutuhan ruang, konsumsi energi, hingga biaya instalasi dan pemeliharaan. Oleh karena itu, diperlukan analisis untuk membandingkan kinerja sirkulasi udara dari masing-masing sistem yang akan disimulasikan agar dapat menentukan solusi ventilasi yang paling efektif dan efisien untuk diterapkan pada *basement* suatu gedung.

Dalam bidang rekayasa teknik, simulasi numerik menjadi alat yang sangat penting untuk menganalisis fenomena aliran fluida yang kompleks. Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah *Computational Fluid Dynamics* (CFD). CFD merupakan teknik berbasis komputer yang digunakan untuk menyimulasikan dan menganalisis perilaku fluida dan perpindahan panas dengan menyelesaikan persamaan konservasi massa, momentum, dan energi dalam bentuk diskret. Metode ini memberikan efisiensi dalam evaluasi sistem ventilasi dan aliran udara di dalam bangunan tanpa harus melakukan pengujian fisik secara langsung. Dalam konteks penelitian ini, CFD digunakan untuk memodelkan distribusi udara dan efektivitas ventilasi dalam ruang parkir bawah tanah. Dengan menggunakan CFD, *engineer* dapat memperoleh visualisasi seperti distribusi kecepatan, tekanan, dan pola aliran yang membantu dalam pengambilan keputusan desain sistem HVAC dan ventilasi (Sutrisno, 2015)

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis akan menganalisis desain dan kinerja sirkulasi udara pada *basement* sebuah gedung dengan membandingkan dua pendekatan sistem ventilasi mekanikal, yaitu sistem *ducting* penuh dan sistem *jet fan*. Diharapkan hasil analisis desain simulasi menggunakan software dengan

metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*) ini dapat memberikan kontribusi dalam merancang sistem ventilasi basement yang tidak hanya memenuhi standar teknis, tetapi juga efisien dari segi operasional dan pemanfaatan ruang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja sistem sirkulasi udara menggunakan ducting pada basement sebuah gedung?
2. Bagaimana kinerja sistem sirkulasi udara menggunakan jet fan pada basement sebuah gedung?
3. Perbandingan manakah yang lebih efektif dalam menerapkan sirkulasi udara pada basement berdasarkan aspek yang dianalisis sesuai standart yang berlaku?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dengan beberapa hal:

1. Penelitian difokuskan pada analisis sistem ventilasi mekanikal pada area *basement* sebuah gedung, dengan membandingkan dua pendekatan desain yaitu menggunakan *ducting* dan *jet fan*.
2. Aspek yang dianalisis meliputi pola aliran udara, distribusi udara, *heat transfer*, *pollutant transfer*, dan kesesuaian terhadap standar teknis yang berlaku, menggunakan *Software ANSYS Fluent Student Version*.
3. Penelitian ini tidak mencakup perhitungan beban pendinginan, pengaruh pencahayaan alami, segi ekonomis, maupun dampak terhadap struktur bangunan secara keseluruhan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kinerja sistem ventilasi udara dengan pendekatan *ducting* penuh pada *basement*.

2. Menganalisis kinerja sistem ventilasi udara dengan pendekatan *jet fan* pada *basement*.
3. Membandingkan efektifitas kinerja dalam pendistribusian udara dari kedua sistem pada area *basement* sesuai parameter yang dianalisis dan standart yang berlaku.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan referensi teknis dalam perencanaan sistem ventilasi mekanikal untuk ruangan *basement* pada gedung.
2. Memberikan gambaran mengenai kelebihan dan kekurangan masing-masing sistem ventilasi mekanikal (*ducting* dan *jet fan*).
3. Menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan sistem ventilasi yang sesuai dari segi teknis gedung.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik, pada perencanaan ventilasi ruang *basement* dengan dua pendekatan sistem ventilasi mekanikal (*ducting* dan *jetfan*), maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Distribusi aliran udara
 - a) Sistem *ducting* menunjukkan arah aliran udara yang lebih merata namun dengan kecepatan lebih rendah, sehingga terdapat potensi area stagnan, rendahnya kecepatan udara ini belum mencapai batas kenyamanan termal sebagaimana diatur dalam ASHRAE 55-2021, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna.
 - b) Sistem *jetfan* menghasilkan aliran udara lebih cepat dengan distribusi yang tidak merata dan cenderung turbulen, tetapi mampu meningkatkan pencampuran udara. Meskipun tidak terarah aliran udara seperti pada sistem *ducting*, kondisi ini sudah sesuai dengan standar kenyamanan termal sesuai ASHRAE 55-2021.
2. Distribusi suhu udara
 - a) Pada sistem *jetfan*, suhu udara pada ruangan lebih tinggi.
 - b) Pada sistem *ducting*, suhu udara cenderung lebih rendah dari sistem *ducting*.
3. Kenyamanan termal dan kualitas udara (*pollutant*)
 - a) Berdasarkan parameter suhu (26–28 °C) dan kecepatan udara (0,25-0,3 m/s) yang disarankan ASHRAE 55 untuk kondisi tropis, sistem *jetfan* sudah masuk kriteria kenyamanan termal, dibandingkan *ducting* yang menghasilkan kecepatan lebih rendah dan rata rata suhu lebih tinggi.
 - b) Sistem *jetfan* lebih rendah pada semua indikator polutan di dalam ruangan, menandakan pengenceran & pembuangan polutan lebih baik. Namun pada *outlet ducting* akhir terlihat *ducting* lebih banyak dapat membuang polutan

Dengan mempertimbangkan kriteria kenyamanan termal ASHRAE 55 (*elevated air speed*) dan kualitas udara, sistem *jetfan* menjadi pilihan yang lebih unggul pada skenario ini: kecepatan aliran lebih tinggi meningkatkan kenyamanan sekaligus menurunkan konsentrasi polutan. Sistem *ducting* tetap bermanfaat untuk distribusi seragam, namun pada angka kecepatan yang diperoleh berpotensi kurang efektif untuk pengenceran polutan dan dapat menurunkan persepsi kenyamanan karena kecepatan aliran udara belum sesuai standar.

5.2 Saran

Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan baik untuk penerapan praktis maupun pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Kajian lebih lanjut diperlukan untuk menghitung efisiensi energi dari masing-masing sistem agar dapat diperoleh rekomendasi yang tidak hanya nyaman, tetapi juga hemat energi.
2. *Ducting* dapat ditambahkan variasi baik kecepatan *exhaust fan* maupun penempatan titik *inlet diffuser/ exhaust air grille*.
3. Saat operasional sistem *ducting* maupun *jetfan* perlu dipadukan dengan sistem kontrol otomatis berbasis sensor (suhu, CO, CO₂) agar operasionalnya lebih efisien dan adaptif terhadap kondisi nyata di *basement*.
4. Penelitian berikutnya berdasarkan kasus diatas dapat mengkombinasikan keunggulan sistem *jetfan* dan *ducting* secara bersamaan.

Dengan demikian, sistem ventilasi *basement* tidak hanya efektif dalam menjaga kualitas udara, tetapi juga efisien dalam konsumsi energi serta mendukung prinsip bangunan ramah lingkungan, serta memiliki akurasi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE. 2022. *Standard 62.1: Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. ASHRAE. Atlanta-USA.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2019. *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. ASHRAE. Atlanta-USA.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). 2021. *ASHRAE Handbook: Fundamentals*. ASHRAE. Atlanta-USA.
- BMKG. 2023. *Data Kecepatan Angin Wilayah Bali*. Terdapat pada: <https://www.bmkg.go.id>. Diakses tanggal 25 Juli 2025.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2001. SNI 03-6572-2001: *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*. BSN. Jakarta-Indonesia.
- CVS Air. 2023. *Jetfan Product Catalogue – CVS Air Systems*. Terdapat pada: <https://www.cvsair.com>. Diakses tanggal 25 Juli 2025.
- Carrer, P., Wargocki, P., Fanetti, A. dan De Oliveira Fernandes, E. 2018. What Does the Scientific Literature Tell Us about the Ventilation–Health Relationship in Public and Residential Buildings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15 (5): 1028.
- Ferziger, J.H., Perić, M. dan Street, R.L. 2020. *Computational Methods for Fluid Dynamics*. Edisi 4. Springer. Cham-Switzerland.
- Hidayat, R. 2022. Risiko Kesehatan akibat Ventilasi Tidak Memadai di Basement Gedung. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 19 (1): 45–51.
- Lenzer, J., Patel, A. dan MacIntyre, C.R. 2020. Ventilation and COVID-19: A Review of the Evidence. *Journal of Hospital Infection*. 106 (2): 442–450.

- Li, Z., Wang, J. dan Gao, J. 2020. Characterization of Real-World Emission Factors and Idling Behavior of Gasoline Vehicles in Parking Garages. *Atmospheric Pollution Research*. 11 (6): 1057–1066.
- Permenkes RI. 2023. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Standar Kualitas Udara Dalam Ruang*. Kementerian Kesehatan RI. Jakarta-Indonesia.
- Pramudito, H. 2019. *Modifikasi Desain Sistem Ventilasi Kamar Mesin KMP. Tanjung Sole*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Roache, P.J. 1998. *Verification and Validation in Computational Science and Engineering*. Hermosa Publishers. Albuquerque-USA.
- Safitri, S.A. 2017. *Desain dan Analisis Sistem Pengkondisian Udara Berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD) pada Kereta Ukur Sulawesi di PT. INKA (Persero)*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sanna, S. 2015. *Numerical Techniques in Fluid Dynamics: A Practical Introduction*. Cambridge University Press. Cambridge-UK.
- Satwiko, P. dan Tuhari, W. 2016. *Perencanaan Ventilasi pada Gedung Hemat Energi*. Andi Publisher. Yogyakarta-Indonesia.
- Setiawan, F.A.H. 2021. *Simulasi CFD Sistem Ventilasi dan Pengaturan Udara Ruang Isolasi COVID-19 di Kapal Perintis 750 DWT*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Shrestha, S.S., Lee, C. dan Park, J. 2019. Measurement of Vehicle Emissions under Idling Conditions in Basement Parking Structures. *Journal of Environmental Management*. 243: 432–439.
- SimScale. 2023. *What is CFD and How it Helps in HVAC Design*. Terdapat pada: <https://www.simscale.com>. Diakses tanggal 25 Juli 2025.
- Sustainability. 2019. CFD Modeling for Indoor Air Quality and Ventilation Optimization. *Sustainability Journal*. 11 (22): 6462.

- Sutami, D. dan Pramono, R. 2019. *Optimalisasi Ventilasi Mekanik di Basement Menggunakan CFD. Jurnal Rekayasa Sipil*. 13 (1): 33–40.
- Sutrisno, H. 2015. *Analisis CFD pada Sistem Ventilasi Basement Menggunakan Jetfan. Jurnal Teknik Mesin*. 10 (1): 1–9.
- Tu, J., Yeoh, G.H. dan Liu, C. 2018. *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*. Edisi 3. Butterworth-Heinemann. Oxford-UK. Terdapat pada: https://www.researchgate.net/publication/325089765_Computational_fluid_dynamics_A_practical_approach (Diakses 1 Juli. 2025).
- WeatherSpark. 2023. *Wind Speeds in Pecatu, Bali*. Terdapat pada: <https://weatherspark.com>. Diakses tanggal 24 Juli 2025.
- Home Ventilating Institute, n.d. *Mechanical Ventilation Types: Exhaust, Supply, Balanced & Energy Recovery*. [online] Terdapat pada: <https://www.hvi.org/resources/publications/mechanical-ventilation-types/> (Diakses 6 Aug. 2025).
- Kong, K.H., Chong, W.T. dan Koh, V.L., 2019. *Human behaviour-dependent and variable-flow-reversible mechanical ventilation system design in an underground parking facility*. *Indoor and Built Environment*, 28(10), pp.1392–1406. doi:10.1177/1420326X19832955.
- VentureWell Sustainability Workshop, 2014. *Natural Ventilation Strategies*. [online] Terdapat pada: <https://sustainabilityworkshop.venturewell.org/node/1029.html> (Diakses 6 Agustus. 2025).
- Kusumawardani, N., Yulastuti, N. dan Rachmawati, E., 2015. *Sistem Ventilasi Alami sebagai Dasar Perancangan JFC Center di Kabupaten Jember*. Skripsi. Universitas Brawijaya. Terdapat pada: <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/122678> (Diakses 6 Agustus 2025).
- Setiati, T.W., Hidayati, D.A. dan Harjono, H., 2023. *Pengaruh Lower-Ventilation terhadap Aliran Udara Ruang Dalam*. *Jurnal Tekstur*, [online]

6(1), pp.1–10. Terdapat pada: <https://ejurnal.itats.ac.id/tekstur/article/view/6712> (Diakses 6 Agustus 2025).

Wicaksono, A., 2018. *Optimasi Desain Saluran Fluida Menggunakan CFD*. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.