



TESIS - DA 185401

***SOLAR CHIMNEY* SEBAGAI ALTERNATIF
PENGHAWAAN PASIF PADA UNIT APARTEMEN DI
SURABAYA**

FRISTATESA ANDRIANI
08111750040002

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env.
FX. Teddy Badai Samodra, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Arsitektur
Fakultas Arsitektur, Desain Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019



TESIS - DA 185401

***SOLAR CHIMNEY* SEBAGAI ALTERNATIF
PENGHAWAAN PASIF PADA UNIT APARTEMEN DI
SURABAYA**

FRISTATESA ANDRIANI
08111750040002

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env.
FX. Teddy Badai Samodra, S.T., M.T., Ph.D.

Departemen Arsitektur
Fakultas Arsitektur, Desain Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019



THESIS - DA 185401

SOLAR CHIMNEY AS AN ALTERNATIVE APPROACH TO PASSIVE UNIT APARTMENT IN SURABAYA

FRISTATESA ANDRIANI
08111750040002

Supervisor
Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env.
FX. Teddy Badai Samodra, S.T., M.T., Ph.D.

Department of Architecture
Faculty of Architecture, Design, and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2019

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Arsitektur (M.Ars.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FRISTATESA ANDRIANI

NRP: 08111750040002

Tanggal Ujian: 21 Juni 2019

Periode Wisuda: September 2019

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B.Env,
NIP: 196703011992032002

2. FX. Teddy Badai Samodra, S.T., M.T., Ph.D
NIP: 198004062008011008

Penguji:

1. Dr. Eng. Ir. Sri Nastiti Nugrahani Ekasiwi, M.T.
NIP: 196111291986012001

2. Ir. Purwanita Setijanti, M.Sc., Ph.D.
NIP: 195904271985032001



Ir. Sri Nastiti Nugrahani Antaryama, Ph.D.
NIP: 196804251992101001

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fristatesa Andriani

NRP : 08111750040002

Program Studi : Magister (S2)

Departemen : Arsitektur

Dengan ini saya menyatakan, bahwa isi sebagian maupun keseluruhan proposal tesis saya dengan Judul:

Solar Chimney sebagai Alternatif Penghawaan Pasif pada Unit Apartemen di Surabaya.

Adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Juli 2019



at pernyataan;

Fristatesa Andriani

NRP: 08111750040002

KATA PENGANTAR

Syalom,

Puji serta rasa syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas rahmat karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “*Solar chimney* sebagai alternatif penghawaan pasif unit apartemen di Surabaya. Studi Kasus: Apartemen di Surabaya”. Selama penyusunan penulis banyak mendapat bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M.B. Env. dan Bapak F.X. Teddy Badai Samodra S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing atas semangat, kritik, serta saran yang diberikan kepada penulis.
2. Ibu Dr-Eng.Ir.Dipl-Ing. Sri Nastiti NE, M.T dan Ibu Ir. Purwanita Setijanti, M.Sc, Ph.D. selaku dosen penguji.
3. Papah, Mamah, kakak Eta, kakak Andri, dan dede Acel yang selalu menyertai perjalananku dengan dukungan dan doa.
4. Teman-temanku angkatan 2017,terkhusus buat Putri, Afif, Arinta, Bulan, Fery, Paul,senior Lab Sains Arsitektur dan Teknologi, serta Angga dan Aji dari Lab Termal Teknik Mesin atas bantuan, dukungan dan semangat yang diberikan.
5. Bapak dan Ibu Dosen, Pak Sahal, dan staf Departemen Arsitektur ITS Surabaya.

Laporan tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Kritik serta saran yang membangun sangat diharapkan, guna membangun tesis ini.

Surabaya, 21 Juli 2019

Penulis,

SOLAR CHIMNEY SEBAGAI ALTERNATIF PENGHAWAAN PASIF UNIT APARTEMEN DI SURABAYA

Nama Mahasiswa : Fristatesa Andriani
NRP : 08111750040002
Pembimbing : Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M. B. Env.
Co-Pembimbing : FX. Teddy Badai Samodra, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Sistem sirkulasi *double-loaded*, menjadikan kinerja penghawaan silang apartemen di Surabaya menjadi tidak efektif. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa salah satu cara mengurangi konsumsi energi listrik pada bangunan apartemen adalah dengan mengurangi penggunaan AC dan mengaplikasikan penghawaan pasif sebagai alternatif. Oleh karena itu, strategi desain yang diusulkan dalam penelitian ini adalah pengaplikasian *solar chimney* yang dipengaruhi oleh material dan ketinggian bangunan untuk meningkatkan performa penghawaan silang. Penelitian ini menggunakan metode simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang berfokus pada apartemen *high-rise*. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan *velocity comfort* (VC) guna memenuhi kenyamanan fisiologis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada semua ketinggian yang diuji (36 m, 63 m, dan 87 m) kinerja kecepatan angin pada *solar chimney* dapat memenuhi standar VC dan ACH kota Surabaya. Dari penggunaan material solar chimney, material beton menghasilkan kecepatan angin yang tinggi yaitu 0.47 m/s dengan temperatur ruang 32.8°C pada ketinggian lantai 36 m. Material kaca bekerja menghasilkan kecepatan angin 0,55 m/s dengan temperatur 34.3°C pada ketinggian 87 m. Sedangkan, material baja menghasilkan kecepatan angin yang tinggi 0.47 m/s dengan temperatur ruang 33.4°C pada ketinggian lantai 87 m.

Kata kunci: apartemen, penghawaan pasif, *solar chimney*, simulasi CFD

SOLAR CHIMNEY AS AN ALTERNATIVE APPROACH TO PASSIVE UNIT APARTMENT IN SURABAYA

Name : Fristatesa Andriani
Student Identity Number : 08111750040002
Supervisor : Dr. Ir. Asri Dinapradipta, M. B. Env.
Co-Advisor : FX. Teddy Badai Samodra, S.T, M.T, Ph.D

ABSTRACT

The double-loaded corridors which mainly found in the high rise apartments in Surabaya result in inefficient cross ventilation inside the units. Some studies stated that the energy consumption in apartment buildings could be reduced by minimizing the use of Air Conditioner (AC) and applying passive cooling design strategies as an alternative. Therefore, this study proposed the use of solar chimney that influenced by material and building height as a passive cooling strategy to enhance cross ventilation inside the apartment units. This study used Fluid Dynamics Computational Simulation (CFD) method focusing on high-rise apartments. The objective of this research was to evaluate velocity comfort (VC) of solar chimney application in order to fulfill physiological comfort. The results of this study showed that the performance of wind speed after applying solar chimney already met the standards of VC and ACH in Surabaya for all simulation building levels (36 m, 63 m, and 73 m). Solar chimney made of concrete generated an effective performance with wind velocity of 0.47 m/s and temperature of 32.8°C in 36 m level. The glass material resulted 0,55 m/s wind velocity with 34.3°C air temperature in the building height 87 m. In addition, solar chimney which made of steel material at 87 m height resulted in wind velocity of 0.47 m/s and 33.4°C air temperature.

Keywords: apartment, passive ventilation, solar chimney, CFD simulation

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Apartemen	5
2.1.1 Jenis Apartemen Berdasarkan Jumlah Lantai	5
2.1.2 Tipe Apartemen Berdasarkan Jumlah Ruang	6
2.1.3 Keterbatasan Apartemen	7
2.1.4 Penggunaan Energi Apartemen	8
2.1.5 Sistem Penghawaan Apartemen	9
2.2 Aliran Angin	10
2.2.1 Daerah Perkotaan	11
2.2.2 Aliran Angin sekeliling Bangunan Tinggi	13
2.3 Penghawaan	14
2.3.2 Penghawaan Pasif	15
2.3.1 Mekanisme Penghawaan	21
2.5 <i>Solar Chimney</i>	23
2.5.1 Sistem Kerja <i>Solar Chimney</i>	23
2.5.2 Aplikasi <i>Solar Chimney</i>	24
2.5.3 Diameter <i>Solar Chimney</i>	25
2.5.4 Orientasi <i>Solar Chimney</i>	27

2.5.5 Material	27
2.5.7 Mode Operasional	29
2.5.8 Konfigurasi	30
2.6 Sintesis Kajian Pustaka	33
2.7 State Of The Art	36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	39
3.1 Paradigma Penelitian	39
3.2 Metode Penelitian	39
3.3 Data dan Teknik Pengumpulan Data	40
3.4 Identifikasi Variabel Penelitian	41
3.4.1 Variabel Bebas	41
3.4.2 Variabel Terikat	44
3.4.3 Variabel Kontrol	45
3.5 Objek Penelitian	46
3.5.1 Populasi Penelitian	46
3.5.2 Sampel Penelitian	47
3.6 Model Experimen	50
3.7 Rancangan Simulasi	52
3.7.1 Simulasi CFD	52
3.7.2 Pembuatan Domain	54
3.7.3 Simulasi Termal	56
3.8 Tahapan Analisis Penelitian	57
3.8.1 Kinerja unit yang menggunakan <i>solar chimney</i>	58
3.8.2 Pengaruh <i>Solar Chimney</i> terhadap Ketinggian Bangunan	60
BAB 4 PENGUKURAN LAPANGAN DAN VERIFIKASI	64
4.1 Analisis Data Iklim Surabaya	64
4.2 Objek Penelitian	66
4.3 Rancangan Eksperimen	67
4.3.1 Pengukuran Lapangan	68
4.2.3 Penentuan Titik Ukur Kecepatan Angin	69
4.3.1 Alat Ukur	69
4.3.4 Spesifikasi Bukaan	70
4.3.5 Waktu Pengukuran	71
4.4 Hasil Pengukuran Lapangan dan Simulasi	72
4.4.1 Hasil Kecepatan Angin Pengukuran Lapangan	72

4.4.2 Hasil Kecepatan Angin Simulasi	75
4.4.3 Perbandingan Hasil Pengukuran dan Simulasi	77
4.4.4Kesimpulan pengukuran dan simulasi	80
BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	83
5.1 Model <i>Base Case</i>	83
5.1.1 Model Base Case di berbagai Ketinggian Bangunan.....	84
5.1.2 Hasil Kecepatan Angin pada Koridor	84
5.1.3 Hasil Kecepatan Angin pada Unit.....	87
5.1.4 Hasil Kecepatan Angin dari Koridor menuju Unit	88
5.2 Pengaruh Ketinggian Terhadap Kinerja <i>Solar Chimney</i>	91
5.2.1 <i>Solar Chimney</i> Beton (M1).....	91
5.2.2 <i>Solar Chimney</i> Kaca (M2)	92
5.2.3 <i>Solar Chimney</i> Baja (M3)	95
5.3 Pengaruh Material Terhadap Kinerja <i>Solar Chimney</i>	98
5.3.1 Ketinggian B8	98
5.3.2 Ketinggian B17	99
5.3.3 Ketinggian B25	100
5.4 Performa <i>Solar Chimney</i>	101
5.3Temperatur Udara	101
5.3.1 Temperatur di dalam <i>Solar Chimney</i>	102
5.3.2 Temperatur di dalam Ruang Keluarga.....	103
5.3.3 Perbandingan Temperatur <i>solar chimney</i> pada Ruang Keluarga.	104
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....	112
5.1 Kesimpulan	112
5.1.1 Pengaruh Ketinggian.....	112
5.1.2 Pengaruh material terhadap kenyamanan termal	112
5.1.3 Strategi Desain	113
5.3 Saran	114
DAFTAR PUSTAKA	112
LAMPIRAN 1 Populasi Apartemen.....	xix
LAMPIRAN 2 Populasi Rumah susun di Surabaya.....	xxiii
LAMPIRAN 3 Hasil pengukuran Lapangan	xxiv
LAMPIRAN 4 Kesimpulan hasil pengukuran lapangan	liii
LAMPIRAN 5 Kesimpulan hasil simulasi validasi	liv
LAMPIRAN 6 Grafik hasil pengukuran dan simulasi	lv

LAMPIRAN 7	Grafik batang hasil pengukuran dan simulasi	lvii
LAMPIRAN 8	Setting Simulasi CFD	
LAMPIRAN 9	Hasil simulasi temperatur material beton	lxii
LAMPIRAN 10	Hasil simulasi temperatur material kaca	lxv
BIODATA PENULIS		lxviii

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Strategi penghawaan di bangunan <i>high-rise</i>	10
Gambar 2.2	Aliran angin dengan perbedaan sudut bangunan.....	11
Gambar 2.3	Grafik gradien angin pada kondisi topografi berbeda-beda.....	11
Gambar 2.4	Aliran angin sekeliling bangunan tinggi.....	13
Gambar 2.5	(a) Gaya aliran angin; (b) Tampak atas aliran angin	14
Gambar 2.6	Aplikasi <i>solar chimney</i>	24
Gambar 2.7	Tipe dinding <i>solar chimney</i>	25
Gambar 2.8	Mode Operasional	29
Gambar 2.9	Konfigurasi terbuka; (b) Konfigurasi tertutup.....	30
Gambar 2.10	Aplikasi <i>solar chimney</i> pada bangunan.....	32
Gambar 2.11	Pola Berpikir.....	33
Gambar 2.12	(a) Aplikasi pada dinding tipe C; (b) dengan tipe <i>solar chimney</i> ..	34
Gambar 2.15	Pemberian kode material	35
Gambar 3.1	Ilustrasi penentuan kelompok ketinggian	42
Gambar 3.2	Site Plan Bale Hinggil	50
Gambar 3.3	Ilustrasi besaran domain atau lingkungan	55
Gambar 3.4	<i>Sun path</i> kota Surabaya	58
Gambar 3.5	Grafik kinerja <i>solar chimney</i>	59
Gambar 3.6	Steamline dari hasil Simulasi	60
Gambar 3.7	Grafik perbandingan.....	61
Gambar 3.8	Grafik hasil	62
Gambar 4.3	Peta Eksisting	66
Gambar 4.4	Denah Bale Hinggil	67
Gambar 4.5	Eksisting Bangunan	67
Gambar 4.7	Denah Pengukuran.....	68
Gambar 4.8	Titik Ukur	69
Gambar 4.9	(a) WGBT-2010SD; (b) Ketinggian Alat Ukur.....	70
Gambar 4.10	Spesifikasi Bukaan; (a) Pintu, (b) Jendela.....	70
Gambar 4.11	Grafik Hasil Pengukuran Lapangan	73
Gambar 4.12	(a) Hasil Simulasi (b) Contoh Simulasi Aliran Angin.....	75
Gambar 4.13	Hasil Simulasi Kecepatan Angin Untuk Validasi	76

Gambar 4.14	Grafik Hasil Simulasi Kecepatan Angin.....	77
Gambar 4.15	Titik Ukur Jendela (<i>Outdoor</i>)	78
Gambar 4.15	Titik Ukur Tengah (<i>Outdoor</i>)	80
Gambar 4.17	Grafik Hasil Perbandingan Pengukuran dan Simulasi.....	81
Gambar 4.18	Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Lapangan	82
Gambar 5.1	Denah Unit Penelitian	83
Gambar 5.3	(a) Posisi Ketinggian; (b) Hasil Kecepatan Angin di Koridor.....	85
Gambar 5.4	Grafik Kecepatan Angin pada Koridor	86
Gambar 5.5	Grafik Penurunan Kecepatan Angin Koridor.....	86
Gambar 5.6	Kecepatan Angin pada Unit	87
Gambar 5.7	Vector pada unit B17	88
Gambar 5.7	Kontur kecepatan angin pada base case ketinggian B8, B17, B25	89
Gambar 5.8	Grafik kecepatan angin pada base case ketinggian B8, B17, B25.	90
Gambar 5.9	Hasil Simulasi <i>Solar Chimney</i> ketinggian B8, B17, B25	92
Gambar 5.10	Hasil kinerja <i>solar chimney</i> M1 ketinggian B8, B17, B25	92
Gambar 5.11	Hasil kinerja <i>solar chimney</i> M2 ketinggian B8, B17, B25	94
Gambar 5.12	Hasil kinerja <i>solar chimney</i> M2 ketinggian B8, B17, B25	94
Gambar 5.13	Hasil kinerja <i>solar chimney</i> M3 ketinggian B8, B17, B25	95
Gambar 5.14	Hasil kinerja <i>solar chimney</i> M3 ketinggian B8, B17, B25	95
Gambar 5.15	Grafik hasil simulasi kecepatan angin pada unit.....	97
Gambar 5.16	Pengaruh material M1, M2, M3 pada ketinggian B8.....	98
Gambar 5.17	Pengaruh material M1, M2, M3 pada ketinggian B17.....	99
Gambar 5.18	Pengaruh material M1, M2, M3 pada ketinggian B25.....	100
Gambar 5.19	Grafik hasil simulasi temperatur udara pada <i>solar chimney</i>	102
Gambar 5.20	Grafik hasil simulasi temperatur udara pada ruang keluarga.....	103
Gambar 5.21	Grafik hasil simulasi <i>solar chimney</i> beton.....	104
Gambar 5.22	Grafik hasil simulasi <i>solar chimney</i> kaca	105
Gambar 5.23	Grafik hasil simulasi <i>solar chimney</i> baja	106
Gambar 5.24	Kecepatan angin dan temperatur <i>solar chimney</i> beton	107
Gambar 5.25	Kecepatan angin dan temperatur <i>solar chimney</i> kaca.....	108
Gambar 5.26	Kecepatan angin dan temperatur <i>solar chimney</i> baja	109
Gambar 5.27	Rentang suhu nyaman hasil penelitian.....	110
Gambar 5.28	Hasil gradien ACH dan VC pada unit.....	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kekasaran Permukaan	12
Tabel 2.2 Alternatif Penghawaan Pasif pada Bangunan	14
Tabel. 2.3 Syarat nilai Debit (m^3/jam) pada bangunan rumah tinggal	17
Tabel 2.4 Syarat nilai pertukaran udara pada rumah tinggal	17
Tabel 2.5 Nilai kecepatan Angin.....	19
Tabel 2.6 Diameter <i>Solar Chimney</i>	25
Tabel 2.7 Variasi orientasi	27
Tabel 2.8 Karakteristik Termal	29
Tabel 2.9 Aplikasi konfigurasi <i>solar chimney</i> tertutup.....	31
Tabel 2.10 Variabel penelitian	33
Tabel 2.11 Posisi Penelitian	37
Tabel 3.1 Variabel Ketinggian	43
Tabel 3.2 Variabel Material	43
Tabel 3.2 Variabel Ketinggian dan Material.....	43
Tabel 3.3 Variabel Terikat	44
Tabel 3.4 Standar Nilai ACH.....	45
Tabel 3.5 Variabel Kontrol	45
Tabel 3.6 Perbandingan Fasilitas	46
Tabel 3.7 Reduksi Sampel Penelitian.....	48
Tabel 3.8 Permodelan.....	51
Tabel 3.9 Kode Simulasi	51
Tabel 3.10 Rencana Hasil Simulasi <i>Outdoor</i> dan Koridor	51
Tabel 3.11 Rencana Hasil Eksperimen	52
Tabel 3.12 Rencana Simulasi.....	52
Tabel 3.13 Rencana Hasil Eksperimen	53
Tabel 3.14 Batas Kenyamanan Termal	61
Tabel 4.1 Data Iklim Tahun 2014 Wilayah Surabaya.....	65
Tabel 4.2 Jam Pengukuran Lapangan	71
Tabel 4.3 NOAA Kota Surabaya Tahun 2017	71
Tabel 4.4 Klasifikasi Nilai Regresi	81
Tabel 4.5 Hasil Deviasi 20% pada setiap Unit Apartemen.....	82

Tabel 5.1 Penurunan Kecepatan Angin	87
Tabel 5.2 Penurunan Kecepatan Angin	90
Tabel 5.3 Perubahan Kecepatan Angin <i>soalar chimney</i> Beton	92
Tabel 5.4 Perubahan Kecepatan Angin <i>solar chimney</i> Kaca.....	94
Tabel 5.5 Perubahan Kecepatan Angin <i>soalar chimney</i> Beton	96
Tabel 5.6 Perubahan Kecepatan Angin ketinggian B8.....	99
Tabel 5.7 Perubahan Kecepatan Angin ketinggian B8.....	100
Tabel 5.8 Perubahan Kecepatan Angin ketinggian B25.....	101
Tabel 5.3 Selisih hasil simulasi temperatur	103
Tabel 5.4 Hasil Experimen temperatur.....	109

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi sudah dialami sejak tahun 1988 sampai tahun 2015. Konsumsi energi global yang cenderung tumbuh lebih cepat dari pada pertumbuhan penduduk (Hasan, dkk, 2012). Bangunan dapat mengkonsumsi sekitar 42% per tahun energi seluruh dunia, terutama untuk pemanasan, pendinginan udara, dan penyediaan listrik (Lotfabadi, 2015). Kondisi iklim di daerah tropis mempunyai karakteristik temperatur udara tinggi, kelembapan relatif tinggi dan kecepatan angin rendah yang membuat kondisi lingkungan tidak nyaman. Studi yang berkaitan dengan sistem termal di daerah tropis lembab melihat permasalahan hampir sama, yaitu besarnya beban panas dalam bangunan yang berpengaruh terhadap pembentukan temperatur udara di dalam ruang (Febrita, 2011). Besarnya beban panas pada bangunan tentu saja didasari oleh kondisi lingkungan, aktivitas yang dilakukan, dan padatnya pertumbuhan penduduk pada kawasan tersebut. Kecepatan angin yang rendah mengakibatkan penghawaan silang pada bangunan tidak dapat bekerja secara optimal, sehingga penggunaan *Air Conditioner* dijadikan solusi. AC adalah suatu sistem yang mengendalikan kondisi udara, seperti; temperatur, kelembapan, aliran udara, dan kebersihan udara secara serentak dari suatu ruangan sehingga tercapai suatu kondisi yang diinginkan. Penggunaan energi di unit apartemen dengan lokasi yang berbeda mencapai 96-171 kWh/m² per tahun yang dapat mengakibatkan efek rumah kaca Jang, dkk (2017).

Szokolay (1987) memaparkan metode penghawaan pasif yang optimal pada iklim tropis lembab adalah efek pergerakan angin, yaitu pendinginan fisiologis yang tidak hanya bergantung dari kecepatan angin tetapi juga aktivitas dan pakaian yang digunakan oleh manusia. Sedangkan menurut Aynsley (1977) penghawaan pasif pada bangunan dapat terjadi karena adanya perbedaan tekanan, ada dua hal yang membedakan perbedaan tekanan tersebut yaitu: (1) *stack effect* terjadi karena perbedaan temperatur, (2) *wind pressure* terjadi karena tekanan angin pada

bangunan. Strategi pengaplikasian *stack effect* terbagi menjadi tiga, yaitu: *Tromble Wall*, *Solar Chimney*, dan *Solar roof* (Awbi, 2003).

Salah satu strategi penghawaan pasif adalah *solar chimney* yang dapat mengalirkan angin di dalam ruangan, menurunkan temperatur panas, serta memenuhi kenyamanan termal, (Bansal, dkk, 1994; Macias, dkk, 2006; Wong, dkk, 2008). *Solar chimney* secara maksimal dapat bekerja pada pagi dan sore hari tapi juga memungkinkan pada siang hari (Zha, dkk, 2017; Baxevanou, dkk, 2017). Penelitian tentang penggunaan *solar chimney* pada bangunan *low-rise* dan *high-rise*, (Harris, dkk, 2007; Wong, dkk, 2008; Zha, dkk, 2017; Rattanongphisat, dkk, 2017). Konfigurasi *solar chimney* terbagi atas dua, terbuka dan tertutup (Punyasompun, 2009; Long Shi, dkk, 2018). Menurut Taylor (2002), besi dan beton merupakan material konstruksi dengan konduktivitas thermal yang paling tinggi di antara material lain yakni sebesar 200 W/m °C dan 84 W/m °C. Sedangkan Amin (2016) berpendapat material penyusun *solar chimney* yang paling ideal adalah logam atau beton (bisa juga digabungkan/komposit). Agar radiasi matahari tidak mengurangi kenyamanan pengguna bangunan maka antara dinding ruangan dan dinding *solar chimney* diinsulasi dengan *styrofoam*. Selain material tersebut, material kaca dan aluminium dapat digunakan sebagai fasad untuk memaksimalkan matahari masuk kedalam cerobong, Taylor (2002); Amin (2016). Tidak hanya pada fasad material kaca juga digunakan sebagai dinding dan atap *solar chimney*, hal ini bertujuan untuk meningkatkan daya apung di dalam cerobong melalui proses pemanasan dengan sifat kaca yang transparan, memantulkan, dan menyerap (Lee, dkk, 2015). *Solar Chimney* dengan material baja juga dapat menyerap panas dengan mudah. Selain itu, bahan ini sangat cocok untuk meningkatkan aliran udara di dalam gedung atau rumah. Cerobong yang dibuat dengan plat baja tebal 1 mm, dengan ketinggian 3 m menghasilkan aliran udara 0,26 m/s, Waraporn (2017).

Pertumbuhan penduduk menyebabkan kepadatan bangunan yang berdampak pada kurangnya lahan untuk pembangunan rumah tinggal sehingga merubah pola pembangunan dari hunian horizontal menjadi hunian vertikal. Hunian vertikal terbagi menjadi dua, yaitu; apartemen *high-rise*, dan apartemen sederhana. Apartemen di Surabaya memiliki sistem sirkulasi *double-loaded*, hal ini mengakibatkan kinerja penghawaan silang menjadi tidak efektif. Untuk studi kasus

yang sama, Fahmi, dkk, (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh ventilasi *shaft* terhadap aliran udara didalam bangunan apartemen di Surabaya yang menghasilkan kombinasi konfigurasi lubang, dan kemiringan bukaan dapat meningkatkan keseragaman distribusi aliran udara. Untuk memperkaya alternatif penghawaan pasif pada apartemen, maka *stack effect* dalam bentuk *solar chimney* diteliti lebih lanjut. Penelitian ini bertujuan untuk memenuhi standar VC (*velocity comfort*) dari KEMENKES sebesar 0.25-0.5 m/s yang dibandingkan dengan nilai ACH (*air change per hour*) 0,3 menurut Satwiko (1994). Eksperimen dalam bentuk simulasi di dalam unit apartemen dengan melakukan *treatment* pada tiga material, yaitu beton, kaca dan baja pada ketinggian yang ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Sistem penghawaan pasif yang baik adalah penghawaan silang. Pada penelitian ini kondisi iklim tropis dan sistem sirkulasi *double-loaded* menjadikan penghawaan silang tidak dapat bekerja dengan efektif. Penelitian tentang penghawaan pasif pada unit apartemen di Surabaya dengan sistem penghawaan ventilasi *shaft* Fahmi, dkk (2017). Alternatif pengaplikasian *solar chimney* diteliti lebih lanjut, melihat pengaruh material dan ketinggian bangunan agar dapat memenuhi standar kenyamanan termal. Dari pernyataan di atas, pertanyaan penelitian dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja *solar chimney* di berbagai ketinggian bangunan?
2. Bagaimana pengaruh material *solar chimney* terhadap kinerja penghawaan pasif?
3. Bagaimana strategi desain *solar chimney* sebagai alternatif penghawaan pasif pada unit apartemen di Surabaya?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan strategi desain penghawaan pasif pada unit apartemen di Surabaya yang memanfaatkan *solar chimney*. Dari tujuan di atas sasaran penelitian dibagi menjadi beberapa bagian:

1. Mengevaluasi kinerja *solar chimney* di berbagai ketinggian pada bangunan.

2. Mengevaluasi pengaruh material *solar chimney* terhadap kinerja penghawaan pasif.
3. Menghasilkan strategi desain *solar chimney* sebagai alternatif penghawaan pasif pada unit apartemen di Surabaya.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian berupa strategi sistem penghawaan pasif pada unit apartemen di Surabaya yang memanfaatkan *solar chimney*, yang dapat digunakan oleh para peneliti dan mahasiswa untuk menjadi bahan dasar kajian pustaka serta dapat dimanfaatkan oleh para arsitek atau desainer untuk menjadi bahan pertimbangan strategi desain sistem penghawaan pasif.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini ditetapkan dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi hanya pada penghawaan yang menggunakan sistem pasif, dan secara spesifik fokus membahas tentang *solar chimney*.
2. Apartemen yang digunakan sebagai objek penelitian adalah apartemen dengan tipe *high-rise* hal ini disebabkan rata-rata ketinggian apartemen di Surabaya $\pm$ 20 lantai.
3. Pemilihan unit apartemen adalah tipe 1,2,3 *bedroom* (BR). Pada tipe ini, semua BR menggunakan AC, tapi tidak pada ruang keluarga dan dapur. Oleh sebab itu zona penelitian diletakan pada area ruang yang tidak menggunakan AC.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Apartemen

Menurut Smith (1967) apartemen adalah tempat beristirahat yang santai dari ketegangan mencari nafkah, dari kebisingan, kekhawatiran, dan ketegangan. Oleh sebab itu, bangunan apartemen seharusnya dapat memberikan kenyamanan, keamanan, dan privasi bagi keluarga yang tinggal di dalamnya. Hal tersebut menandakan bahwa apartemen merupakan dasar dari kumpulan emosi penghuninya. Apartemen juga digambarkan sebagai golongan masyarakat perkotaan yang memiliki latar belakang pendidikan dan tingkat sosio ekonomi yang tinggi. Penghuni apartemen merupakan masyarakat perkotaan yang pada umumnya memiliki sifat yang individualis. Masyarakat dengan tingkat ekonomi menengah keatas tersebut biasanya membutuhkan hunian yang menjaga privasi, memiliki fasilitas yang banyak, memiliki keamanan tinggi, dan mementingkan eksklusivitas (Lumakso, 2016). Hunian dipilih karena kepraktisan dan ukurannya yang terbatas membuat pengguna mudah dalam hal menjaga kebersihan dan penataan ruang (Puspasari, 2017).

2.1.1 Jenis Apartemen Berdasarkan Jumlah Lantai

Menurut Akmal (2007), apartemen terbagi menjadi 4 kategori jenis dan besar bangunan, yaitu:

1. *Garden-rise* apartemen. Bangunan apartemen 2 (dua) sampai 4 (empat) lantai. Apartemen memiliki taman dan halaman sekitar bangunan. Apartemen ini sangat cocok untuk keluarga inti yang memiliki anak kecil agar anak-anak dapat dengan mudah mencapai taman.
2. *Walked-up* apartemen. Bangunan apartemen yang terdiri dari tiga sampai lima lantai. Apartemen ini kadang-kadang memiliki lift, tetapi bisa juga tidak. Jenis apartemen ini disukai oleh keluarga yang lebih besar (keluarga inti ditambah orang tua). Gedung apartemen terdiri dari 2 (dua) sampai 3 (tiga) unit apartemen.

3. *Mid-rise* apartemen. Bangunan apartemen yang terdiri dari enam sampai dengan sepuluh lantai. Jenis apartemen ini lebih sering dibangun di kota satelit.
4. *High-rise* apartemen. Bangunan apartemen yang terdiri atas lebih sepuluh lantai. Dilengkapi area parkir bawah tanah, sistem keamanan dan servis penuh. Struktur apartemen lebih kompleks, sehingga desain unit apartemen cenderung standar, dan jenis ini banyak dibangun di pusat kota.

2.1.2 Tipe Apartemen Berdasarkan Jumlah Ruang

Berdasarkan jumlah ruang yang dimiliki, unit apartemen dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Studio. Unit apartemen ini hanya memiliki satu ruang yang bersifat multifungsi antara lain sebagai ruang duduk, kamar tidur dan dapur yang semuanya terbuka tanpa partisi. Satu-satunya ruang yang terpisah hanya kamar mandi. Tipe ini sesuai dihuni oleh satu orang atau pasangan yang belum memiliki anak. Luas minimum unit ini berkisar antara 20-35 m². Apartemen studio banyak diminati mahasiswa selain merupakan tempat tinggal yang cukup menampung seorang saja, lokasi yang strategis dekat dengan universitas menjadi alternatif tempat tinggal mahasiswa (Lumakso, 2016). Tipe studio sekarang banyak dipilih oleh masyarakat terutama oleh para muda lajang yang sedang berkarir (Puspasari, 2017).
2. Apartemen 1,2,3 kamar / apartemen keluarga. Pembagian ruang apartemen ini mirip dengan rumah biasa. Tipe ini memiliki kamar tidur terpisah serta ruang duduk, ruang makan, dapur yang bisa terbuka dalam satu ruang atau terpisah. Luas apartemen tipe ini sangat beragam tergantung ruang yang dimiliki serta jumlah kamarnya. Luas minimal untuk satu kamar tidur yaitu 25 m², 2 kamar tidur sebesar 30 m², 3 kamar tidur sebesar 85 m², dan 4 kamar tidur mencapai 140 m². Menurut Hokpin (2017), tipe apartemen 1 *badroom* (BR) memiliki minimal 28 m², dengan maksimal 61 m², tipe 2 *badroom* (BR) memiliki minimal 51 m², dengan maksimal 83 m², sedangkan tipe 3 *badroom* (BR) memiliki minimal 61 m², dengan maksimal 101 m².
3. Loft. Loft adalah bangunan bekas gudang atau pabrik yang kemudian dialihfungsikan sebagai apartemen. Caranya adalah dengan menyekat bangunan

besar ini menjadi beberapa unit hunian. Keunikan loft apartemen adalah biasanya memiliki ruang yang tinggi serta mezzanine atau dua lantai dalam satu unit. Bentuk bangunannya pun cenderung berpenampilan industrial. Meski demikian beberapa pengembang kini menggunakan istilah loft untuk apartemen dengan mezzanine atau dua lantai walaupun dalam bangunan yang baru.

4. Penthouse. Unit hunian ini berada di lantai paling atas sebuah bangunan apartemen. Luasnya lebih besar daripada unit-unit dibawahnya. Bahkan, kadang-kadang satu lantai hanya ada satu atau dua unit saja. Selain lebih mewah, *penthouse* juga lebih privat karena memiliki lift khusus untuk penghuninya. Tipe ini memiliki luas minimum mencapai 300 m².

Berdasarkan golongan sosial, apartemen dibagi menjadi empat jenis antara lain apartemen sederhana, apartemen menengah, apartemen mewah, dan apartemen super mewah. Yang membedakan keempat tipe di atas adalah fasilitas yang terdapat dalam apartemen tersebut. Semakin lengkap fasilitas dalam sebuah apartemen, maka semakin mewah apartemen tersebut. Pemilihan bahan bangunan dan sistem apartemen juga berpengaruh. Semakin baik kualitas material dan semakin banyak pelayanannya, semakin mewah apartemen tersebut (Savitri, 2007). Dari segi harga apartemen, berdasarkan rata-rata penjualan apartemen segmen atas berada di kisaran harga Rp 25 juta sampai Rp 38 juta/m², sedangkan segmen menengah berada di kisaran harga Rp 18 juta sampai Rp 24 juta/m² dan segmen ke bawah dengan kisaran harga Rp 9 juta sampai Rp 17 juta/m² (Widarti, 2016). Harga apartemen kelas menengah ke bawah di Surabaya yaitu mulai dari harga 300 juta – 700 juta rupiah (Colliers International Indonesia, 2017).

2.1.3 Keterbatasan Apartemen

Keterbatasan apartemen di Indonesia terbagi menjadi 3 bagian:

1. Tidak dapat tumbuh

Apartemen memiliki luasan yang permanen dan tidak dapat dikembangkan. Jika apartemen tersebut memiliki luas 155 m², maka luas unit tidak bisa diperbesar atau diperkecil, kecuali sekat dinding yang bisa dikondisikan.

2. Tidak bisa direnovasi

Tata letak layout ruang apartemen tidak dapat diubah sesuka hati, tidak dapat memindahkan letak area basah, seperti kamar mandi dan dapur karena dapat mengganggu kelancaran utilitas seperti saluran air dan pipa pembuang yang sudah dirancang secara kolektif oleh pengembang. Meskipun demikian di beberapa apartemen, dinding partisinya dapat diubah, asalkan bukan dinding konstruksi, jadi masih bisa diganti dengan material lain seperti kaca jika ingin ruang terasa luas.

3. Tidak bisa memiliki taman dan kebun

Unit apartemen yang dibangun dalam jumlah puluhan lantai tidak memungkinkan untuk memiliki taman dan kebun. Namun demikian, bisa memilih apartemen yang dilengkapi balkon untuk mendapatkan ruang luar tambahan.

Desain apartemen di Surabaya tidak terlalu mementingkan penghawaan pasif pada unitnya, dimana penyelesaian permasalahan pengondisian udara menggunakan sistem penghawaan aktif. Hal tersebut menjadikan sistem penghawaan pasif pada bangunan apartemen tidak mendapatkan pergantian udara yang cukup dan memenuhi kenyamanan termal bangunan (Mikola, dkk, 2017). Di Indonesia, saat ini, apartemen terutama untuk kelas menengah, hampir tidak mempertimbangkan kondisi iklim panas-lembab dalam desain. Hal ini disebabkan desainnya menggunakan AC (Alfata dkk, 2015).

2.1.4 Penggunaan Energi Apartemen

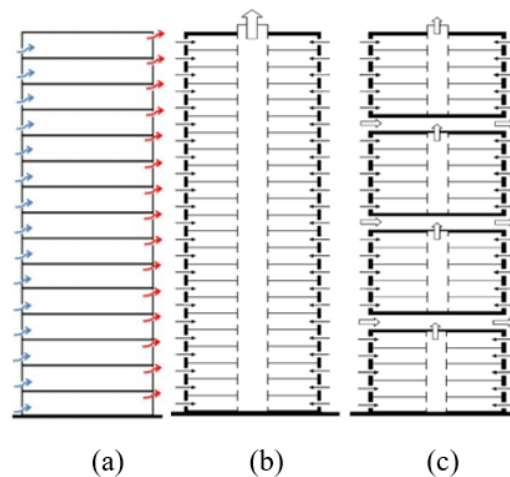
Kota-kota besar di Indonesia sudah padat penduduknya, permintaan untuk apartemen diharapkan meningkat di masa depan. Sementara itu, konsumsi energi rumah tangga di Indonesia diprediksi akan meningkat tajam dengan munculnya apartemen baru. Di wilayah tropis seperti Indonesia, permintaan pendinginan ditemukan memiliki kontribusi signifikan untuk konsumsi energi rumah tangga terutama ketika AC digunakan (Suherman, 2015). Dengan demikian, ada kekhawatiran bahwa jika apartemen yang sangat bergantung pada energi ini meningkat di masa depan, konsumsi energi untuk pendinginan akan meningkat secara dramatis (Alfata, dkk, 2015). Konsumsi energi global yang dibutuhkan pada

sektor bangunan gedung sebesar 48%, 27% sektor transportasi dan 25% sisanya digunakan pada sektor industri (Amin, 2016). Dari 48% konsumsi energi tersebut diketahui bahwa 40% digunakan pada proses perawatan dan pengoperasian bangunan gedung, sedangkan 8% sisanya digunakan pada proses pembangunan (konstruksi) dan produksi bahan (material). UNEP (2009) menyatakan secara global rata-rata energi yang digunakan dalam proses pengoperasian bangunan gedung meliputi: pemanas dan pendingin ruangan sebesar 60%, pemanas air sebesar 18%, pendingin dan pemanas makanan sebesar 6%, pencahayaan sebesar 3% dan kegiatan lain-lain yang meliputi hiburan dan telekomunikasi sebesar 13%. Berdasarkan permasalahan di atas maka solusi untuk mengurangi tingginya konsumsi energi yang berdampak pada membengkaknya biaya perawatan gedung adalah meminimalkan penggunaan HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning).

2.1.5 Sistem Penghawaan Apartemen

Sebagian besar apartemen yang ada di Surabaya memiliki desain yang kompak dengan pertimbangan efisiensi lahan dan biaya konstruksi, terutama untuk apartemen kelas menengah ke atas. Hal ini dapat dilihat dari bentuk geometri bangunan yang memiliki banyak kemiripan antara satu apartemen dengan lainnya. Bangunan apartemen kelas menengah ini umumnya memiliki denah bangunan berbentuk persegi panjang, atau menyerupai huruf L dan U dengan koridor yang terletak di tengah dan unit-unit apartemen yang berada di kedua sisi bangunan. Desain ini memiliki keunggulan dari segi efisiensi lahan dan konstruksi bangunan. Meski demikian, desain yang kompak tersebut kurang efektif untuk menciptakan penghawaan pasif pada sebagian besar unit apartemen yang ada di bangunan tersebut. Hal ini disebabkan oleh terbatasnya akses untuk menciptakan bukaan ke arah luar pada sebagian besar unit apartemen, terutama unit-unit yang terletak di bagian tengah bangunan. Unit-unit tersebut hanya memiliki satu sisi dinding yang dapat mengakses udara luar. Kondisi tersebut kurang ideal untuk menghasilkan penghawaan pasif yang efektif, unit apartemen setidaknya memiliki dinding yang menghadap arah angin (*windward*) dan sisi yang membelakangi arah angin (*leeward*) untuk menciptakan penghawaan silang yang efektif. Sedangkan sebagian

besar unit apartemen ini mengandalkan penghawaan satu sisi dan penghawaan buatan untuk menyuplai kebutuhan udara dan menciptakan kenyamanan di dalam ruangan. Penghawaan di dalam bangunan menjadi lebih efektif, bila menggunakan penghawaan pasif sepanjang sehari guna mengurangi temperatur panas didalam ruangan. Namun, efek pendinginan yang disebabkan penghawaan malam diimbangi pula oleh panas dari radiasi yang besar melalui jendela bangunan (Alfata, dkk 2015). Baik apartemen publik atau swasta baru, dirancang dengan desain menggunakan AC. Dalam hal ini, strategi AC tetap dipertimbangkan, tetapi penting untuk bisa mengurangi beban penggunaan energi dari pendinginan ruangan ber-AC sebanyakya dengan menerapkan teknik pendinginan pasif di dalam unit apartemen. Penghawaan sangat penting untuk kualitas udara dalam ruangan dan kenyamanan manusia dalam membangun. Dengan meningkatkan kecepatan udara, penghuni akan puas dengan kenyamanan termal pada temperatur yang sedikit lebih tinggi dari pada ruang yang dikondisikan (Rattanongphisat, dkk, 2017). Sistem penghawaan pasif pada bangunan *high-rise* terbagi atas tiga bagian, yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1.

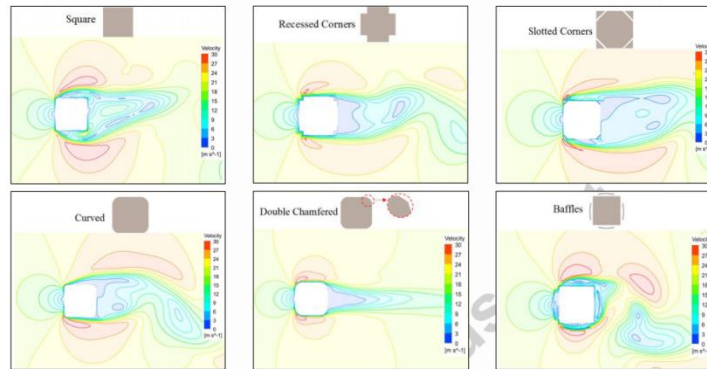


Gambar 2.1 Strategi penghawaan di bangunan *high-rise*: (a) seluruh lantai tertutup, (b) menghubungkan lantai dengan void, dan (c) pembagian persegmen (Etheridge, 2011; data diperoleh dari Omrani dkk, 2017)

2.2 Aliran Angin

Aliran angin adalah gerakan udara dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Menurut Aynsley (1977) aliran angin terbagi menjadi empat bagian; daerah terbuka, daerah pedesaan, daerah pinggiran kota, dan

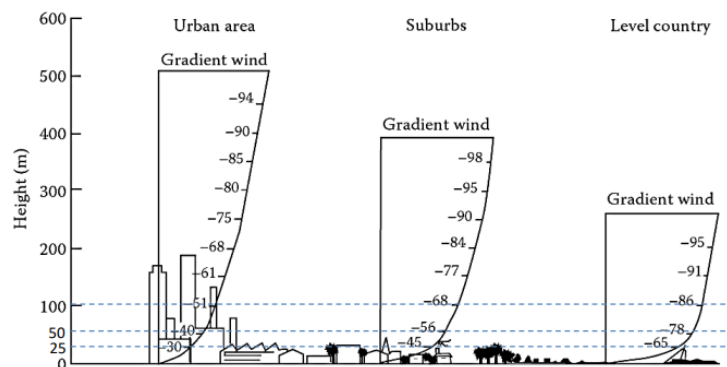
daerah pusat kota. Daerah perkotaan terbagi atas; pusat kota, gedung tinggi, dan area industri. Aliran angin yang melewati gedung tinggi biasanya di dominasi oleh dinamika beban angin yang dihasilkan (Mooneghi, 2016) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Dengan kecepatan angin diatur ke kondisi yang menyenangkan ($0,5 \text{ m} / \text{detik}$) pendinginan fisiologis terdistribusi di lingkungan dalam ruangan.



Gambar 2.2 Aliran angin dengan perbedaan sudut bangunan (Mooneghi, 2016)

2.2.1 Daerah Perkotaan

Aliran angin yang terjadi di dekat permukaan bumi akan mendapat pengaruh dari tingkat kekasaran permukaan di daerah yang dilaluinya. Berdasarkan Szokolay (2004) pengaruh dari permukaan bumi ini akan menyebabkan terjadinya aliran turbulen dan menciptakan suatu *boundary layer* yang memiliki ketinggian yang bervariasi, tergantung dari kekasaran permukaan bumi yang dilaluinya mulai dari 270 m di daerah padang terbuka hingga lebih dari 500 m di daerah pusat kota. Gradien kecepatan angin terus mengalami perubahan sesuai ketinggian dari permukaan bumi seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Grafik gradien angin pada kondisi topografi berbeda-beda (Turner, 1968 data diperoleh dari Fahmi dkk, 2017)

Gradien kecepatan angin terus mengalami perubahan sesuai ketinggian dari permukaan bumi juga dibenarkan oleh Aynsley (1977). Ketinggian sekitar 500 m, arah dan kecepatan angin merupakan fungsi dari bentuk, intensitas dan lokasi geografis dari sistem atmosfer. Pada Gambar 2.3 menjelaskan kecepatan angin yang dipengaruhi oleh ketinggian bangunan, mulai dari daerah terbuka sampai pada pusat kota. Dengan demikian, bangunan *high-rise* memiliki tantangan tambahan dalam desain penghawaan pasif yaitu ukuran dan desain bukaan (Wood, 2012). Strategi *double-facade* diusulkan untuk mengurangi kecepatan angin pada area balkon, melainkan dapat memanfaatkannya sebagai penghawaan pasif (Gratea, 2004; Wong, 2008). Berdasarkan grafik dapat diidentifikasi kecepatan angin yang mengalami perubahan pada ketinggian tertentu, dijelaskan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kekasaran Permukaan

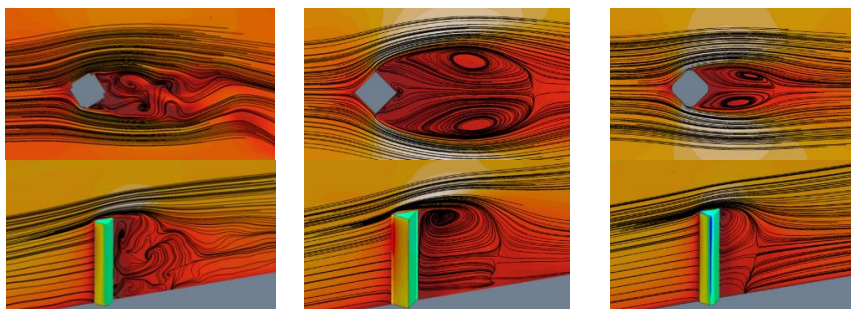
Kategori Permukaan	Deskripsi Permukaan	Gradien Ketinggian $Z_G(m)$	Gradien Ketinggian $Z_0(m)$	Mean Speed Exponent α	Guest Speed Exponent β
1	Laut terbuka, gurun, padang tundra, padang es	250	0.001	0.11	0.07
2	Daerah pedesaan, terbuka dengan semak rendah dan pepohonan yang jarang	300	0.03	0.15	0.09
3	Daerah pinggiran kota, kota kecil, area hijau	400	0.3	0.25	0.14
4	Daerah pusat kota, gedung tinggi, area industri.	500	3	0.36	0.20

Sumber: Aynsley, 1977

2.2.2 Aliran Angin sekeliling Bangunan Tinggi

Aliran angin yang melalui suatu objek dapat mengalami pemisahan menjadi beberapa lapisan yang berbeda, seperti pada Gambar 2.4. Sebelum mempelajari aliran udara di sekitar bangunan tinggi, diperlukan pemahaman mengenai lapisan-lapisan aliran angin yang terjadi di sekitar suatu objek. Lapisan-lapisan aliran angin ini telah dijelaskan oleh Aynsley (1977), bahwa terdapat tiga *flow regions* yaitu:

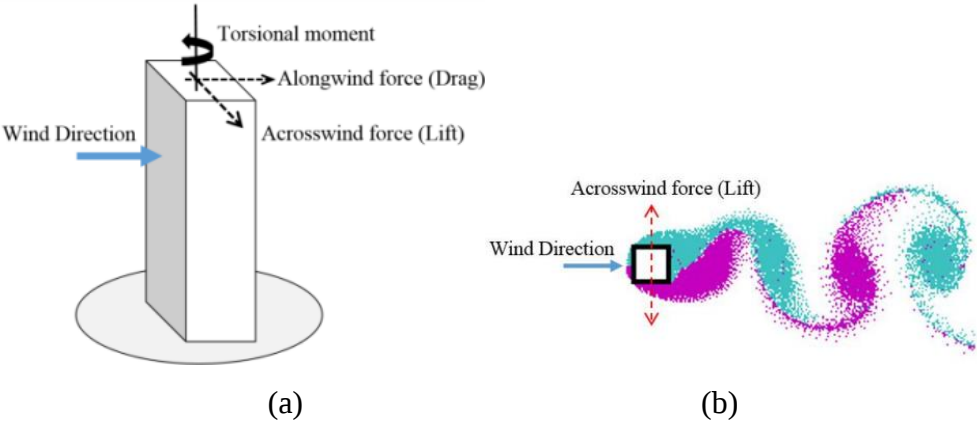
1. *Freestream flow*. Aliran angin yang terjadi sebelum mencapai objek serta aliran di area yang tidak terkena pengaruh langsung dari objek yang dilalui. Pada aliran tersebut, *shear* yang terjadi cukup kecil dan pada aliran inilah Persamaan Bernoulli dapat diterapkan serta dianggap *valid*.
2. *Shear layers*. Aliran ini ditandai dengan tingginya *mean shear rate* yang terjadi. Pada aliran ini kecepatan angin dapat mengalami variasi dari nol di dekat permukaan objek yang dilalui, hingga mendekati kecepatan aliran *freestream* di batas paling luarnya. Selain itu aliran ini juga dapat menjadi pemisah antara *freestream flow* dengan *wake flow*.
3. *Wake flow*. Aliran ini terjadi di belakang *shear layer* yang ditandai dengan adanya aliran balik atau aliran turbulen yang memiliki kecepatan relatif rendah dibandingkan dengan kecepatan pada *freestream flow*.



Gambar 2.4 Aliran angin sekeliling bangunan tinggi (Elshaer dkk, 2017)

Menurut Mooneghi (2016), untuk bangunan *high-rise* seperti pada Gambar 2.5 aliran angin dibagi dalam beberapa gaya; lurus mengikuti arah angin (*drag force*), yang kedua aliran angin yang mengenai bangunan terbelah menjadi dua

bagian yang mengarah ke kiri dan kanan bangunan (lift force), dan yang ketiga gaya yang memutar mengelilingi bangunan (*torsional moment*).



Gambar 2.5 (a) Gaya aliran angin; (b) Tampak atas aliran angin pada bangunan *high-rise* (Mooneghi dkk,2016)

2.3 Penghawaan

Penghawaan adalah strategi dengan menerapkan bukaan sebagai lokasi udara keluar masuk secara bebas, sehingga terjadinya perputaran dan perpindahan udara di dalam sebuah ruang. Penghawaan terbagi atas dua bagian; (1) penghawaan pasif. (2) penghawaan aktif. Jika penghawaan aktif menggunakan bantuan alat mekanis, berbanding terbalik dengan penghawaan pasif yang memanfaatkan kondisi alam. Mekanisme penghawaan pun terbagi menjadi dua bagian, yaitu: *stack effect*, dan *wind pressure*. Kedua sumber penggerak aliran udara penghawaan tersebut dapat bekerja secara bersamaan. Namun apabila kedua sumber penggerak terjadi bersamaan, perbedaan tekanan yang dihasilkan oleh angin biasanya lebih dominan dari pada tekanan akibat perbedaan temperatur atau *stack effect*.

Tabel 2.2 Alternatif Penghawaan Pasif pada Bangunan

PENGHAWAAN	PASIF	Wind Perssure	Penghawaan Silang
			Penghawaan Satu Sisi
		Stack Effect	Tromble Wall
			Solar Roof
			Solar Chimney
	AKTIF		

Sumber: Aynsley (1977)

2.3.2 Penghawaan Pasif

Berdasarkan Moore (1979), penghawaan adalah strategi kuno yang digunakan dimana penghawaan pasif dapat menghasilkan pergantian udara setiap jam di dalam dan di luar bangunan. Fungsi penghawaan pasif terbagi menjadi 3 bagian utama menurut Roaf (2001), yaitu: (1) Menghasilkan udara segar, (2) sebagai pendinginan fisiologis, (3) menghilangkan udara panas. Hal yang sama pun disampaikan oleh Koenigsberger, dkk (1975) tentang fungsi penghawaan pasif yang terbagi menjadi 3 bagian, yaitu : (1) sebagai suplai udara segar, (2) sebagai pendinginan konveksi, (3) sebagai pendinginan fisiologis. Fungsi yang pertama adalah menghasilkan udara segar dimana aspek ini sangat berkaitan dengan kesehatan manusia, karena bangunan yang sehat adalah bangunan yang memiliki sistem penghawaan udara yang pasif. Fungsi yang ke-dua, sebagai pendinginan fisiologis, efek dari aliran udara yang dapat dirasakan langsung oleh penghuni. Fungsi ke-tiga, menghilangkan udara panas yang di hasilkan pada siang hari dan dilepaskan pada malam hari. Fungsi yang ke-empat sebagai pendinginan konveksi; Hal ini tergantung pada volume pergantian udara untuk melepaskan panas yang ada di dalam bangunan. Fungsi dari penghawaan tersebut dijelaskan sesuai tujuan yang ingin dicapai pada sebuah ruangan:

1. Sebagai “*Health Ventilation*”

Penghawaan berperan dalam menjaga kualitas udara dalam ruangan. Hal ini karena dalam ruangan terdapat benda-benda yang mengeluarkan zat materi dan bau volatile yang dapat membahayakan kesehatan. Apabila tidak terdapat sirkulasi udara dalam ruangan, zat materi tersebut akan terakumulasi dalam ruangan yang dapat menyebabkan terjadinya SBS (Sick Building Syndrome). Parameter pengukuran pertukaran udara ditunjukkan oleh jumlah pertukaran udara dalam ruangan setiap jamnya (ACH-Air change per hour). Kebutuhan nilai ACH pada ruangan berbeda-beda bergantung dari jenis aktivitas dan besaran ruangan.

ACH atau pergantian udara per jam adalah jumlah pergantian seluruh udara dalam ruangan dengan udara Segar dari luar setiap jam. Dalam ASHRAE Handbook-Fundamentals (2001) menegaskan bahwa, ACH memiliki fungsi persamaan rasio terhadap laju aliran volumetrik dari udara ke dalam ruang untuk volume ruang dalam, yang diukur dengan satuan jam. ACH berkaitan dengan laju

debit (Q) aliran angin dalam ruangan. Laju debit aliran angin juga disebut sebagai Air Flow Rate. Fungsi persamaan dari Air Flow Rate (Q) dipengaruhi oleh volume ruang (m^3), kecepatan udara (m/s), luasan bukaan *inlet* dan *outlet*.

Parameter pengukuran pertukaran udara ditunjukkan oleh jumlah pertukaran udara dalam ruangan setiap jamnya (ACH-Air change per hour). Kebutuhan nilai ACH pada ruangan berbeda-beda bergantung dari jenis aktivitas dan besaran ruangan. ACH atau pergantian udara per jam adalah jumlah pergantian seluruh udara dalam ruangan dengan udara Segar dari luar setiap jamnya. Dalam ASHRAE Handbook-Fundamentals (2001) ditegaskan bahwa Air Changes per Hour berperan sebagai rasio terhadap laju aliran volumetrik dari udara ke dalam ruang untuk volume ruang dalam, yang diukur dengan satuan jam. Untuk menghitung pertukaran udara per jam (ACH) pada ruangan/bangunan yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$ACH = (Q/V) \times 3600 \quad (2-1)$$

dimana, Q adalah tingkat penghawaan alami (m^3/s), dan V adalah volume ruangan (m^3). Sedangkan tingkat penghawaan alami (Q) sendiri diperoleh dengan persamaan:

$$ACH = 0.025 \times A \times v \quad (2-2)$$

dimana, A adalah luas bukaan (m^2), v adalah kecepatan angin pada bukaan (m/s), dan 0.025 adalah faktor pengali. Persamaan di atas digunakan untuk mendapatkan nilai frekuensi pertukaran udara setiap detik, sehingga untuk mencari nilai setiap jamnya hasil perhitungan tersebut dikonversikan dengan mengalikan 3600 untuk menjadi satuan m/jam. Akan tetapi pada beberapa standar perhitungan nilai ACH dinyatakan dalam satuan $m^3/\text{min}/\text{ruang}$ atau $m^3/\text{min}/\text{orang}$, sehingga nilai dari ACH (N) perlu dikonversikan terlebih dahulu dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Air change rate} = \frac{V \times N}{Q} \quad (2-3)$$

dengan:

- V = Volume ruang (m^3)
- N = frekuensi ACH
- Q = air flow rate (m^3/jam)

Kebutuhan suplai udara berkaitan dengan pergantian udara setiap jamnya. Syarat minimum ACH pada rumah tinggal adalah 0.5 (Givoni, 1976). Nilai ACH yang dibutuhkan untuk rumah tinggal memiliki nilai beragam. Menurut Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor:403/KPTS/M/2002, kebutuhan pergantian udara pada rumah tinggal adalah 0.8 m³/menit/orang. Sedangkan menurut Awbi (1995), dan Satwiko (2008), nilai 0.3 ACH atau 0.75 lt/detik/orang. Menurut Enrei (1991), kenyamanan bisa dicapai dengan nilai ACH dengan rentang 1- 5 ACH. Pada perhitungan ini digunakan nilai ACH berdasarkan standar Satwiko (2008), yaitu 0,3. Hal ini dengan pertimbangan, nilai tersebut merupakan nilai minimal, semakin tinggi nilai ACH maka kualitas udara dalam ruangan akan semakin baik. Tabel 2.3, menunjukkan nilai jumlah udara yang harus masuk dalam ruangan setiap jamnya.

Tabel. 2.3 Syarat nilai Debit (m³/jam) pada bangunan rumah tinggal.

Fungsi Ruang	Q-Debit udara segar (m ³ /jam)
Ruang Keluarga	45
Ruang Tidur	25
Kamar Mandi	25
Dapur	60-90

(Sumber: Ansley (1977))

Tabel 2.3 menunjukkan syarat nilai rata-rata jumlah udara yang masuk setiap menitnya pada bangunan rumah tinggal. Pada Tabel tersebut, dibedakan kebutuhan pada kondisi penghuni merokok dan tidak merokok pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Syarat nilai pertukaran udara pada rumah tinggal

Ruangan	Satuan	Kebutuhan air change rate	
		Merokok	Tidak Merokok
Ruang duduk	(m ³ /min)/ kamar	-	0.30
Ruang Tidur	(m ³ /min)/ kamar	0.75	0.30
Dapur	(m ³ /min)/ kamar	0.75	3.00
Toilet	(m ³ /min)/ kamar	0.30	1.50
Garasi	(m ³ /min)/ mobil	-	3.00
Garasi	(m ³ /min)/ m ²	1.50	0.45

(Sumber: SNI 2001)

Kuantitas penghawaan alami (*air flow rate*) yang dibutuhkan bergantung dari jenis dan jumlah polutan dalam ruangan. Grafik (*pollution & air flow rate*), jumlah polutan akan berkurang dengan bertambahnya nilai *air flow rate*. *Airflow rate* tinggi menunjukkan semakin banyaknya udara yang masuk dan keluar dari dalam ruangan (Allard, 1998).

2. Sebagai “*Thermal Comfort Ventilation*”

Proses atau cara penyejukan yang dilakukan dengan sumber energi yang berasal dari alam (Santamouris dan Asimakopoulos (1996); Defiana (2012)). Pada prinsipnya pendinginan pasif adalah menghindari dan mengurangi panas bertumpuk pada bangunan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mencegah peningkatan panas, mengatur peningkatan panas dengan meminimalkan penerimaan panas dan temperatur, dan mengeluarkan panas akibat dari interior keluar untuk menurunkan temperatur. Pendinginan fisiologis dapat memperluas zona kenyamanan termal yang berdasarkan pada aliran angin (Szokolay, 2004). Parameter desain pendinginan pasif pada bangunan mengacu pada orientasi peletakan bangunan, dimensi, geometri, luasan, material, bukaan dan pembayangan. Strategi pendingin pasif umumnya terdiri dari semua langkah yang preventif mencegah terjadinya *over heating* pada interior bangunan (Asimakopoulos, 1996). Strategi pendinginan pada iklim tropis lembap dengan pematahan laju panas dan penghapusan panas oleh aliran 20 angin. Strategi pemanfaatan aliran angin dilakukan dengan mengoptimalkan pada desain bentuk dan desain bukaan (Apritasari, 2003).

Menurut Frick, dkk (2008), kenyamanan termal dipengaruhi oleh angin dan pengudaraan terus menerus menyejukkan ruangan udara. Udara yang bergerak menghasilkan penyegaran terbaik karena dengan penyegaran tersebut terjadi proses penguapan yang dapat menurunkan temperatur pada kulit dengan demikian angin juga dapat digunakan untuk mengatur kenyamanan di dalam ruang. Selain itu Szokolay (1980) juga menuturkan kenyamanan termal dipengaruhi oleh variabel iklim, yaitu radiasi matahari, temperatur, kelembapan udara, dan kecepatan angin dan beberapa faktor subjektif seperti aklimatisasi, usia, jenis kelamin, pakaian, tingkat kesehatan, tingkat kegemukan, warna kulit serta jenis makanan dan

minuman yang dikonsumsi untuk mengatasi hal tersebut perlu adanya kajian iklim makro dan iklim mikro agar kenyamanan ruang rumah tinggal dapat dirasakan.

Parameter fisiologis bersifat subjektif, setiap kelompok orang pada lokasi dengan kebiasaan beragam memiliki rentang nilai kenyamanan yang berbeda. Pada umumnya parameter yang digunakan adalah parameter fisik. Parameter fisik tidak hanya bisa dijelaskan hanya dengan nilai temperatur. Parameter fisik perlu menghubungkan ketiga elemen fisik tersebut untuk menentukan tingkat kenyamanan termal. Hal ini dijelaskan diagram Mc Farlane (Ansley, 1977). Diagram tersebut menentukan nilai kecepatan udara yang dibutuhkan pada temperatur dan kelembapan tertentu. Awbi (1991) menjelaskan mengenai zona kenyamanan termal pada penghuni dalam ruangan terletak pada rentang ketinggian 150-160 cm dari permukaan lantai. Penghawaan dapat memperluas zona kenyamanan dengan mempercepat proses evaporasi pada permukaan kulit. Kenyamanan termal dapat terjadi melalui kombinasi dari tiga elemen fisik, yaitu temperatur, kelembapan relatif, kecepatan angin (Ansley, 1977). Hubungan antara parameter fisik dengan sensasi yang dirasakan oleh penghuni dijelaskan oleh Szokolay pada Tabel 2.5. Tabel tersebut menjelaskan pada rentang kecepatan angin tertentu bisa memberikan sensasi yang bisa dirasakan oleh manusia. Hal ini juga dijelaskan pada skala Beaufort (Ansley, 1977) seperti Tabel 2.5, yang juga menjelaskan dampak dari kecepatan angin pada penghuni dan lingkungannya. Tabel skala dari Szokolay (1987) dan Beaufort (Ansley, 1977) bisa memberikan perkiraan sensasi yang dirasakan manusia dengan mengetahui nilai kecepatan angin. Begitu pula sebaliknya, memperkirakan nilai kecepatan angin dengan merasakan efek yang terjadi.

Tabel 2.5 Nilai kecepatan Angin

Kecepatan Angin	Reaksi
<0.25 m/s	Tidak Terasa
0.25-0.5 m/s	Sepoi-sepoi lembut, menyenangkan
0.5-1	Hembusan angin disadari
1-1.5	Berangin
>1.5	Berangin yang mengganggu

Sumber: Szokolay (1987) dan Beaufort (Ansley, 1977)

Kategori parameter untuk kenyamanan termal:

- *Physical* parameter, terdiri dari temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$), kondisi termal lingkungan MRT (mean radiant temperature) atau temperatur permukaan, kelembapan relatif (%), kecepatan angin lokal.
- *Physiological* parameter, umur, gender, karakteristik penghuni.
- *External* parameter, aktivitas, pakaian, social conditions, dan lainnya.

Keberadaan aliran udara di sekitar tubuh dapat memberikan kenyamanan termal. Pada saat panas dan kelembapan tinggi, tubuh akan merasa gerah. Keberadaan aliran angin akan meningkatkan penyejukan fisiologis dengan meningkatkan evaporasi pada permukaan kulit dan memberikan sensasi sejuk. Aliran angin juga mampu mengurangi perolehan panas pada bangunan, dan mencegah terjadinya pemanasan akibat elektronik pada rumah. Ketika nilai penghawaan alami (*air change rate*) meningkat maka besar kondisi suhu ruang dalam sama dengan suhu luar bangunan. Teknik tersebut telah banyak diterapkan pada bangunan tradisional di iklim tropis, yang memiliki material selubung bangunan bersifat ringan. Penghawaan alami akan menguntungkan apabila kondisi termal ruang luar termasuk dalam zona nyaman. (Allard, 1998) Terdapat empat prinsip utama dalam memberikan penyejukan pada kenyamanan termal:

- Menurunkan temperatur udara
- Mengurangi kelembapan pada saat kelembapan tinggi
- Meningkatkan kelembapan pada saat kelembapan rendah

Mac Farlane (1953) dalam Ansley (1977) menyatakan bahwa penyejukan fisiologis oleh aliran angin tidak hanya dipengaruhi oleh kecepatan angin saja, tetapi juga aspek iklim seperti kelembapan relatif, temperatur radiasi dan pergerakan udara. Selain itu Mac Farlane juga menambahkan kondisi temperatur dari bola kering (*dry bulb*) sebagai salah satu aspek yang berpengaruh pada penyejukan fisiologis. Kondisi temperatur bola kering (*dry bulb*) dipengaruhi oleh nilai latitud, pada daerah dengan nilai latitud melebihi 30° memiliki rentang temperatur kenyamanan bola kering $21\text{--}28^{\circ}\text{C}$ untuk musim panas, dan $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$ untuk musim dingin. Sedangkan pada daerah dengan *letitude* kurang dari 30°C , nilai temperatur bola kering $24\text{--}30^{\circ}\text{C}$ untuk musim panas dan $21\text{--}28^{\circ}\text{C}$ untuk musim

dingin. Keterkaitan antara temperatur bola kering dengan aspek iklim lainnya terdapat pada penjelasan sebagai berikut:

- Setiap peningkatan kelembapan 10% di atas RH 60%, nilai temperatur kenyamanan temperatur bola kering (dry bulb) ditambahkan 0.80°C.
- Setiap peningkatan 2,8°C pada nilai MRT diatas 3.8°C, maka nilai temperatur kenyamanan bola kering (dry bulb) 0,55°C.
- Setiap aliran angin pada kecepatan 0,15 m/s – 1,5 m/s, perlu menambahkan temperatur 0,55°C pada saat kondisi temperatur kenyamanan bola kering (dry bulb) diatas 37°C.

Berdasarkan ketentuan diatas, Mac Farlane merumuskan kecepatan angin untuk penyejukan fisiologis pada persamaan sebagai berikut:

$$V_c = 0,15 \left(DBT - UCT + \left(0,8x \left(\frac{RH-60}{10} \right) \right) + \left(0,55x \left(\frac{MET-38}{2,8} \right) \right) \right) \quad (2.7)$$

dimana V_c (m/s), merupakan *Velocity comfort* atau kecepatan angin yang dibutuhkan untuk penyejukan fisiologis. DBT (°C), *Dry bulb Temperature*, data temperatur bola kering pada ruangan. UCT (*upper comfort temperature*), temperatur kenyamanan bola kering. RH (*Relative Humidity*), kelembapan relatif pada ruangan. MRT (*Mean radiant temperature*), temperatur radiasi.

2.3.1 Mekanisme Penghawaan

Pada dasarnya penghawaan pasif dapat terjadi akibat adanya perbedaan tekanan. Menurut Aynsley (1977), perbedaan tekanan tersebut terjadi karena pergerakan udara di dalam ruang yang terbagi atas 2 yaitu:

1. *Stack effect* karena adanya variasi pada kepadatan udara yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur. Moore (1993) menyebutkan bahwa *stack effect* merupakan akibat dari menurunnya kepadatan udara seiring dengan pertambahan temperaturnya. Semakin tinggi perbedaan temperatur maka semakin besar pula perbedaan *buoyancy*-nya. Perbedaan *buoyancy* inilah yang menjadi sumber penggerak udara pada sirkulasi *stack effect* seperti pada persamaan 2.4.

$$Q = 0,12 A (H (T_1 - T_2)) \frac{1}{2} \quad (2.4)$$

$$Q = 0,025AV \quad (2-5)$$

$$Q = CdAV\sqrt{\Delta Cp} \quad (2-6)$$

dengan:

Q = debit aliran udara (m³/s)

A = total luas free area (m²)

H = ketinggian antara bukaan atas dan bukaan bawah (m)

T1–T2 = perbedaan temperatur udara luar dan dalam (C°)

V = kecepatan angin referensi (m/s)

Cd = koefisien discharge (0.65-0.70)

Cp = perbedaan tekanan pada sisi *windward* dan *leeward* (J/kg K)

Berdasarkan persamaan di atas, dapat diketahui bahwa *airflow rate* sangat dipengaruhi oleh luas total area yang terbuka, ketinggian antara bukaan atas dan bawah serta perbedaan antara temperatur udara luar dan dalam. Namun demikian, mekanisme *stack effect* ini tidak terlalu efektif apabila diterapkan pada daerah beriklim tropis. Hal ini sesuai dengan pernyataan Aynsley (1977), bahwa sirkulasi *stack effect* di daerah beriklim panas cenderung kurang efektif karena bangunannya memiliki bukaan-bukaan yang besar dan volume pergantian udara yang besar sehingga perbedaan temperatur antara di luar dan di dalam bangunan menjadi lebih kecil.

2. *Wind pressure* yang diakibatkan oleh distribusi tekanan angin pada bangunan. Penghawaan pasif yang disebabkan oleh tekanan angin dapat dibedakan menjadi 2, yaitu penghawaan satu sisi (*single sided ventilation*) dan penghawaan silang (*cross ventilation*). Penghawaan silang terjadi apabila sebuah ruangan hanya memiliki jendela pada satu sisi ruangan sementara penghawaan silang terjadi apabila terdapat jendela pada 2 sisi yang berbeda. Penghawaan silang yang menggunakan angin sebagai sumber penggerakannya sangat tergantung pada perbedaan tekanan antara bukaan dan keluaran anginnya. Adanya perbedaan tekanan ini akan mengakibatkan angin dapat masuk ke dalam suatu ruangan, mengalir di dalamnya kemudian keluar melalui bukaan di sisi lainnya. Berdasarkan The British Standard Method (BS 5925, 1980 dalam Allard, 1998), *air flow rate* atau debit aliran udara pada penghawaan satu sisi dapat dihitung

berdasarkan persamaan 2-5. Sementara itu, perhitungan untuk debit aliran udara pada penghawaan silang dinyatakan dengan persamaan 2-6.

2.5 Solar Chimney

Satwiko (1994) pergerakan udara yang dihasilkan oleh *stack effect* biasanya tidak mencapai pendinginan fisiologis di iklim tropis, hal tersebut terjadi karena kecepatan udara yang direkomendasikan kurang dari 0,15 sampai 1,5 m/s. Namun jika memanfaatkan perbedaan temperatur dan ketinggian bangunan *solar chimney* dapat bekerja lebih efektif (Aynsley, 1977). Iklim tropis lembab memiliki karakteristik perbedaan temperatur *indoor* dan *outdoor* yang kecil, sehingga sistem *stack* dianggap tidak terlalu efisien. Oleh sebab itu dibutuhkan sesuatu yang dapat membuat perbedaan temperatur dengan cepat (Fatimah dkk, 2010). Cara untuk meningkatkan kinerja *solar chimney* adalah dengan mempertimbangkan parameter desain, misalnya lebar, tinggi, orientasi dan bahan material permukaan yang dapat menyerap panas, radiasi matahari, kondisi iklim dan lingkungan (Shi dkk, 2018).

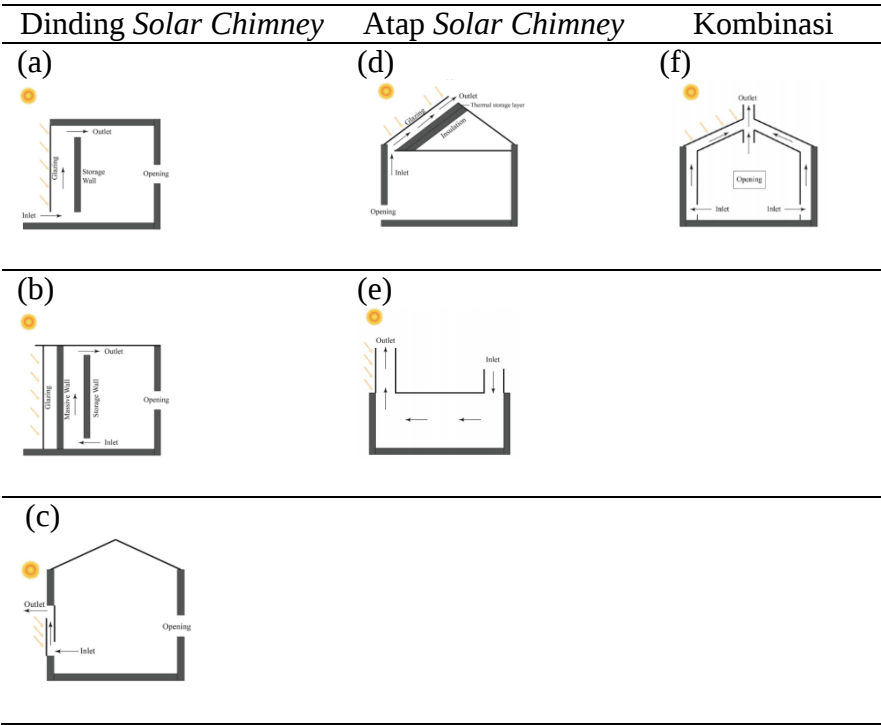
2.5.1 Sistem Kerja Solar Chimney

Mekanisme kerja *solar chimney* yakni dengan memanaskan cerobong sehingga udara yang berada di dalam cerobong memuai dan massa jenisnya semakin ringan. Ketika massa jenisnya ringan maka secara spontan membuat udara tersebut naik ke atas dan meninggalkan ruangan. Kemudian udara yang keluar digantikan oleh udara dingin yang datang dari *inlet* ruangan tersebut. Sesuai dengan hukum *Gay-Lussac* ketika temperatur udara dinaikkan maka volume akan meningkat dan tekanan akan menjadi semakin kecil. Prinsip aliran udara dalam ruangan adalah udara yang masuk sama dengan udara yang keluar jadi apabila akan memasukkan udara baru ke dalam ruangan, maka udara lama dapat dikeluarkan sehingga udara baru dapat mengisi posisi udara lama. Berdasarkan analisis tersebut maka penghawaan pasif yang digunakan minimal mempunyai dua jalur udara (bukaan), dimana *solar chimney* yang berfungsi sebagai pembuang udara yang ada di dalam ruangan. Menurut Waraporn (2017) dimensi *solar chimney*, seperti; panjang, lebar, dan tinggi bangunan memiliki efek pada kecepatan udara hingga 0,137 m³/s. Kedalaman rongga dapat mempengaruhi kecepatan udara didalam

cerobong (Kalkan, 2016). Radiasi matahari juga dapat mempengaruhi mekanisme kinerja *solar chimney* melalui pemanasan pada salah satu bidang cerobong (Shi, dkk, 2018).

2.5.2 Aplikasi Solar Chimney

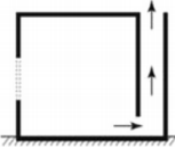
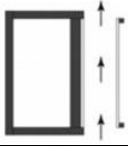
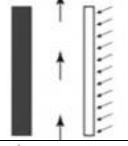
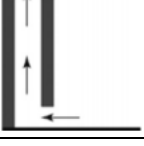
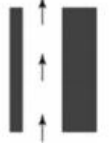
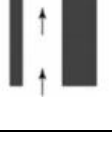
Pengaplikasian *solar chimney* terbagi menjadi tiga bagian, yaitu: dinding, atap, dan kombinasi (antara dinding dan atap) dijelaskan pada Gambar 2.6. Pengaplikasian *solar chimney* pada dinding bangunan yang menjadi fokus pada penelitian ini, dimana *treatmen* akan dilakukan pada dinding dengan mengganti material, serta melihat pengaruh ketinggian terhadap desain *solar chimney*.



Gambar 2.6 Aplikasi *solar chimney* (Long shi, dkk 2018)

Pada umumnya *solar chimney* diaplikasikan di atap dan dinding bangunan *low-rise*, karena sistem kerjanya lebih efektif. Seiring berjalannya waktu *solar chimney* juga diaplikasikan secara kombinasi pada bangunan agar mendapatkan penghawaan pasif yang baik. Tipe-tipe *solar chimney* pada dinding bangunan *low-rise* dikembangkan agar dapat diaplikasikan ke bangunan *high-rise*, dijelaskan dalam beberapa penelitian seperti pada Gambar 2.7. Pada Gambar tersebut tipe B,

yang dikembangkan oleh Shi, dkk (2016) memungkinkan diaplikasikan pada bangunan apartemen.

Peneliti	Tipe	Skema	Persamaan
Shi dkk (2016)	(b)		$V = C_{room} [hHA_{hot} (T_{wall} - T_0)]^{1/3}$
Ryan dkk (2010)	(a)		$V \propto q^{0.459}; V \propto d^{0.756}; V \propto H^{0.600}$
Sankondou dkk (2008)	(c)		$V = \sin\theta A_{out} \sqrt{\frac{2gH(p_0 - p_c)}{(f\frac{H}{d} + k_{in} + k_{out})p_c}}$
Ryan dkk (2005)	(a)		$V \propto q^{0.452}; V \propto d^{0.652}; V \propto H^{0.539}$
Sandberg dkk (1998)	(d)		$V = A \left[\frac{gqH^2 \sin\theta}{p_0 C_p T_0 d (2f\frac{H}{d} + k_{in} + 1)} \right]^{1/3}$
Awbi dkk (1992)	(b)		$V = C_d A \sqrt{\frac{4gH(T_c - T_0)}{T_c}}$

Gambar 2.7 Tipe dinding *solar chimney* (Long shi, dkk 2018)

2.5.3 Diameter

Performa *solar chimney* dipengaruhi oleh diameter dari cerobongnya. Dapat dilihat pada Tabel 2.6 yang menjelaskan hasil penelitian sebelumnya tentang diameter *solar chimney* yang menjadi acuan penelitian.

Tabel 2.6 Diameter *Solar Chimney*

Penelitian	<i>Solar Chimney</i>	
	Diameter	Performa
Warapom, dkk (2017).	Tinggi 3 m dengan ketebalan permukaan 0,1 m.	Menghasilkan perbedaan temperatur udara pada bidang horizontal 7°C dibandingkan pada bidang vertikal 1,41,4°C

Penelitian	Solar Chimney	
	Diameter	Performa
		dan menghasilkan aliran udara 0,26 m/s.
Zha, dkk (2017)	Panjang 6,2m dan lebar 2,8m, dengan bukaan <i>inlet</i> 0,35.	Menghasilkan kecepatan udara 70 m ³ /jam atau 1887,6 / hari.
Baxevanou, dkk (2017)	Panjang 1m, lebar 1m dengan tebal bahan alumunium 1 mm dicat hitam.	Menghasilkan penyerapan radiasi panas lebih cepat di dalam <i>solar chimney</i> .
Cheng dkk (2018)	Skala 1:3 Panjang 1,5, lebar 1,5 m, dengan tinggi 0,9 m.	-
Amin, dkk (2016)	Tinggi 6 m, panjang 2 m dengan ketebalan ruang pemanas 0,55 cm.	-
Gontikaki dkk (2010)	Dimensi optimum, tinggi 6 m, panjang 2 m, dan ketebalan ruangan pemanas sebesar 0,55 m.	-
Mehani dan Setau (2012)	Tinggi penghawaan penghubung <i>solar chimney</i> dengan ruangan 0,2-0,3 m.	-
Shi, dkk (2018)	Sudut kemiringan (10-90°), tinggi (0,521-2,07 m), <i>inlet</i> (0,019-1,2 m ²), area <i>outlet</i> (0,016-1,5 m ²), dan panas radiasi (20-1057 W/m ²).	-

Sumber: Warapom, dkk (2017); Zha, dkk (2017); Baxevanou, dkk (2017); Cheng dkk (2018); Amin, dkk (2016); Gontikaki dkk (2010); Mehani dan Setau (2012); Shi, dkk (2018).

Berdasarkan penjelasan Tabel 2.6, mengaplikasikan ketinggian 3 m seperti yang dilakukan Warapom dkk (2017) dengan panjang dan lebar 1 – 1,5 m menurut Baxevanou, dkk (2017); Cheng dkk (2018) menghasilkan perbedaan temperatur dan penyerapan panas lebih cepat. Maka dalam penelitian ini menggunakan dimensi ketinggian tersebut sebagai variabel kontrol.

2.5.4 Orientasi *Solar Chimney*

Kota Surabaya berada di 07 derajat 9 menit - 07 derajat 21 menit LS (Lintang Selatan) dan 112 derajat 36 menit - 112 derajat 54 menit BT (Bujur Timur). Variasi optimum orientasi dari *solar chimney* yang mempengaruhi seberapa besar radiasi matahari dapat diserap oleh material, yang mempercepat proses pemanasan bidang *solar chimney* (Khanal, dkk, 2011). Pada Tabel 2.7, dijelaskan kalau posisi kota Surabaya yang berada pada garis lintang 7°, berarti memiliki optimum orientasi 50°.

Tabel 2.7 Variasi orientasi

Garis Lintang (°)	Optimum Orientasi (°)
0	55
5	50
10	50
15	45
20	45
25	45
30	50
35	50
40	55
45	55
50	60
55	60
60	60

(Sumber : Khanal, dkk, 2011)

2.5.5 Material

Menurut Monghasemi (2017), media untuk menciptakan perbedaan temperatur di dalam *solar chimney* adalah dengan memanaskan salah satu bidang atau permukaannya. Pemanasan didalam *solar chimney* juga dapat disuplai menggunakan kipas (Kalkan dkk, 2016).

Solar chimney bekerja dengan memanfaatkan konveksi udara yang dihasilkan oleh panas energi matahari pasif. Cerobong jenis ini terlihat mirip dengan cerobong asap tradisional. Tetapi dibandingkan dengan cerobong lainnya, *solar chimney* adalah poros vertikal yang menggunakan energi matahari untuk meningkatkan penghawaan rumah atau bangunan. Ada manfaat lain menggunakan

solar chimney sebagai pengganti cerobong tradisional. *Solar chimney* tidak hanya meningkatkan penghawaan bangunan terutama selama hari-hari panas, tetapi juga meningkatkan kualitas udara di dalam gedung. Selain itu, hasil tersebut dapat meminimalkan kebisingan yang berasal dari luar bangunan dengan material yang ada, seperti: beton, kaca, baja anti karat, dan PCM.

1. Beton. *Solar chimney* dasarnya terbuat dari beton bertulang yang dengan mudah menyerap panas yang dapat diubah menjadi energi yang dapat digunakan. Cerobong surya terbuat dari beton dapat dibangun dengan mudah. Yang harus dilakukan adalah membuat tabung berongga dengan diameter besar. Menurut Taylor (2002), besi dan beton merupakan material konstruksi dengan konduktivitas thermal yang paling tinggi di antara material lain yakni sebesar 200 W/m °C dan 84 W/m °C seperti pada Tabel 2.8. Material penyusun *solar chimney* yang paling ideal adalah logam atau beton (bisa juga digabungkan/komposit). Agar radiasi matahari tidak mengurangi kenyamanan pengguna bangunan maka antara dinding ruangan dan dinding *solar chimney* diinsulasi dengan *styrofoam*, (Amin, 2016).
2. Kaca. *solar chimney* juga bisa terbuat dari kaca, yang juga dikenal sebagai bahan penyerap panas yang baik seperti pada Tabel 2.8. Kaca banyak digunakan pada bagian kolektor *solar chimney* yang biasanya terletak di atas cerobong atau kadang-kadang seluruh batang. Biasanya ada tiga hingga lima bidang vertikal yang diperlukan untuk proses pendinginan dan penghawaan. Pada dinding luar *solar chimney* menggunakan kaca sehingga memaksimalkan cahaya matahari untuk masuk dalam cerobong (Taylor, 2002). Sedangkan menurut Amin (2016) *head* berupa aluminium dan kaca sebagai fasadnya. Material kaca digunakan sebagai dinding dan atap *solar chimney*, hal ini bertujuan untuk meningkatkan daya apung didalam cerobong melalui proses pemanasan dengan sifat kaca yang transparan, memantulkan, dan menyerap (Lee, dkk, 2015).
3. Baja. Cerobong terbuat dari baja juga dapat menyerap panas dengan mudah. Selain itu, bahan ini sangat cocok untuk meningkatkan aliran udara di dalam gedung atau rumah. *Solar chimney* terbuat dari minimal tiga tumpukan dasar, salah satunya adalah saringan bulat yang terbuat dari baja. Aliran udara di dalam gedung ditingkatkan ketika cerobong baja menghasilkan *stack effect*. Efek

tumpukan ini diperlukan untuk bangunan; terutama selama musim panas. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Waraporn (2017) cerobong yang dibuat dengan plat baja tebal 1 mm, dengan ketinggian 3 m menghasilkan aliran udara 0,26 m/s.

Tabel 2.8 Karakteristik Termal

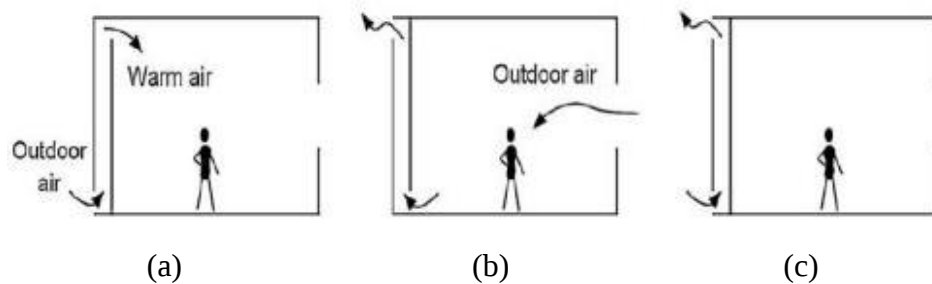
Material	Conductivity (W/m K)	Density (kg/m ³)	Specific Heat (J/kg K)
1. Beton (Lightweight)	0.380	1200	1000
2. Kaca	1.100	2500	840
3. Baja	47	7800	480

Sumber: McMullan (2007)

2.5.7 Mode Operasional

Mode oprasional adalah cara kerja *solar chimney* yang dijelaskan dalam Gambar 2.8. Pada gambar tersebut, terdapat tiga bentuk *solar chimney* pada dinding bangunan. Terdapat tiga hal yang mempengaruhi sistem kerja *solar chimney* seperti:

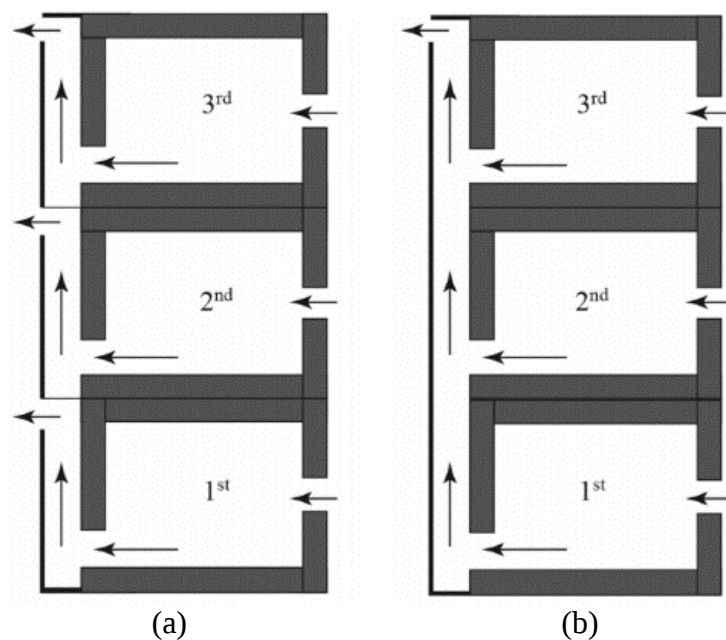
1. *Solar collector* adalah bidang yang mendapatkan radiasi langsung atau pemanasan langsung untuk menghasilkan perbedaan temperatur. Biasanya posisi perletaknya berada di bagian atas atau keseluruhan batang *solar chimney*.
2. Cerobong adalah ventilasi utama yang menggabungkan antara *indoor* dan *outdoor* juga penghubung antar ruang.
3. *Inlet* dan *outlet*. *Inlet* berada didalam ruangan yang menghubungkan *indoor* dan cerobong. Sedangkan *outlet* adalah penghubung dari dalam cerobong menuju *outdoor*.



Gambar 2.8 Mode Operasional

2.5.8 Konfigurasi

Solar Chimney memiliki konfigurasi terbuka dan tertutup, seperti pada Gambar 2.9. pada Gambar tersebut dijelaskan *solar chimney* yang terpisah memiliki tiga batang *solar chimney* yang memiliki tiga *inlet* dan tiga *outlet*, sedangkan konfigurasi digabung memiliki satu batang *solar chimney* dengan tiga *inlet* dan satu *outlet*.

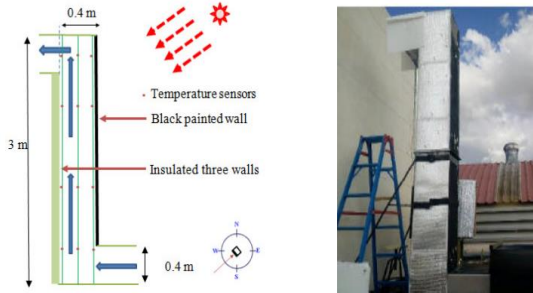
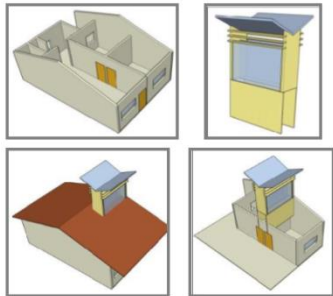


Gambar 2.9 Konfigurasi terbuka; (b) Konfigurasi tertutup (Punyasompun, 2009; Long Shi, dkk, 2018)

1. Konfigurasi Tertutup

Solar chimney dengan bentuk tertutup adalah cerobong yang memiliki *inlet* dari setiap ruang dan hanya memiliki satu *outlet* pada bagian atas cerobong seperti pada Gambar 2.9a. Tipe ini biasanya banyak di dapatkan di negara-negara dengan perbedaan temperatur udara yang sangat besar untuk aplikasi pada *high-rise*, sedangkan pada iklim tropis pada umumnya diaplikasi pada bangunan *low-rise*, hal ini dikarenakan perbedaan temperatur iklim tropis yang terjadi tidak terlalu besar. Pengaplikasian *solar chimney* tertutup, dijelaskan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Aplikasi konfigurasi *solar chimney* tertutup

Penelitian	Objek Penelitian
Zhai, dkk (2011) <i>Bangunan Sosial Housing</i> (a) Model ini memiliki <i>inlet</i> di setiap ruang, dan satu <i>outlet</i> pada bagian atas cerobong.	
Warapom, dkk (2017) <i>Gedung Penelitian</i> (b) Model ini memiliki <i>inlet</i> pada bagian atas dinding, dan <i>outlet</i> pada bagian bawah cerobong.	
Febrita (2011) <i>Rumah Tinggal</i> (c) Model ini memiliki <i>inlet</i> didalam hunian, dan <i>outlet</i> pada bagian atas bangunan tersebut.	
Zha, dkk (2017) <i>Bangunan Kantor</i> (d) Model ini memiliki <i>inlet</i> pada bagian dalam bangunan dan satu <i>outlet</i> pada bagian atas cerobong.	

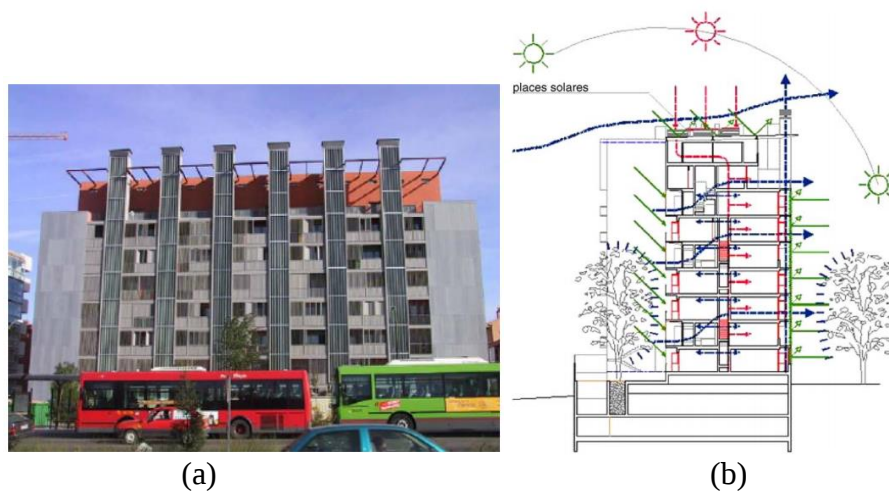
2. Konfigurasi Terbuka

Jika *solar chimney* dengan tipe terbuka memiliki *inlet* pada setiap ruang, dan *outlet* per zona bagian antar lantai sesuai dengan ketinggian bangunan tersebut seperti pada Gambar 2.9b. Alternatif ini sangat jarang diaplikasikan pada bangunan dikarenakan memakan cukup banyak biaya. Namun untuk mendapatkan alternatif baru dalam desain penghawaan pasif pada bangunan *high rise*, hal ini pun akan diuji dalam penelitian ini.

3. Aplikasi *solar chimney* pada bangunan *mid-rise*

Aplikasi *solar chimney* pada bangunan sosial *housing* setinggi 9 lantai di Madrid, Spanyol pada Gambar 2.10. Bangunan ini kombinasi antara *solar chimney* dan penghawaan silang guna mendapatkan penghawaan pasif di dalam bangunan yang mampu memberikan kenyamanan termal bagi pengguna (Macias dkk, 2006).

Dari konfigurasi bentuk pada Gambar 2.10, *solar chimney* dengan bentuk tertutup Gambar 2.9b tentu tidak dapat diaplikasikan pada bangunan *high-rise* di daerah tropis lembab. Hal ini disebabkan kondisi iklim di daerah tropis mempunyai karakteristik temperatur udara tinggi, kelembaban relatif tinggi dan kecepatan angin rendah yang membuat kondisi lingkungan tidak nyaman. Beberapa studi yang berkaitan dengan sistem termal di daerah tropis lembab melihat kecenderungan masalah yang dihadapi hampir sama, yaitu besarnya beban panas dalam bangunan yang berpengaruh terhadap pembentukan temperatur udara di dalam ruangan (Yuswinda, 2011).



Gambar 2.10 Aplikasi *solar chimney* pada bangunan (a) tampak depan; (b) potongan bangunan (Zhai, dkk 2011)

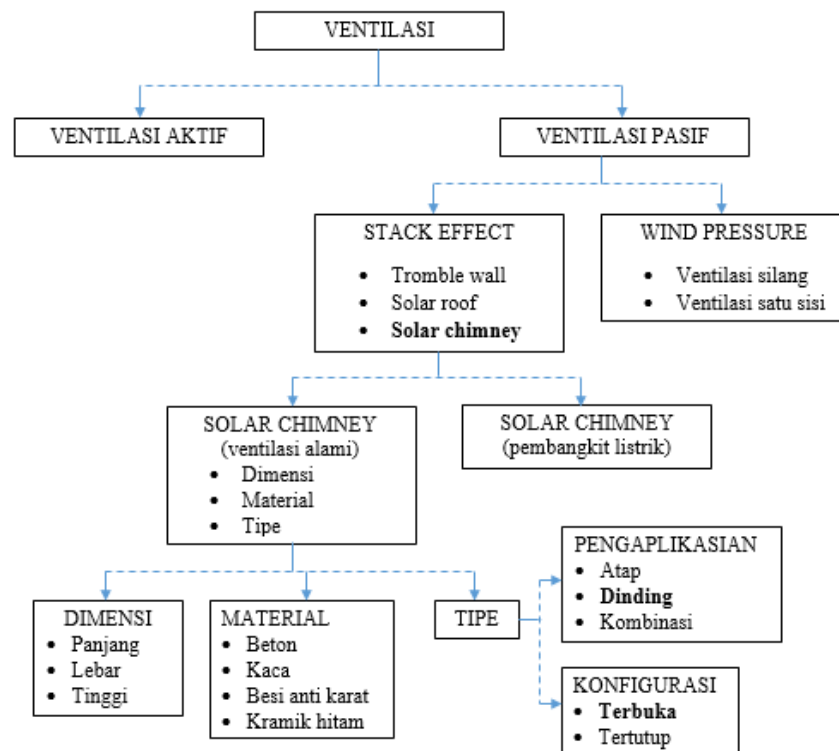
Agar mendapatkan hasil yang baik, pembuatan zonasi ketinggian bangunan sangatlah penting, dengan membagi bangunan sesuai dengan kecepatan angin yang sama pada ketinggian tertentu. Untuk dapat menentukan konfigurasi mana yang lebih berpengaruh dalam desain penghawaan pasif unit apartemen di

Surabaya. Untuk itu dapat disimpulkan variabel penelitian yang dijelaskan dalam Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Variabel penelitian

Variabel Bebas	Variabel Terikat	Variabel Kontrol
• Ketinggian. Mewakili pada ketinggian bawah, tengah dan atas. • Material. jenis material yang dapat di aplikasikan.	• <i>Velocity comfort</i> • <i>Air changes per hour (ACH)</i>	• Buka <i>inlet</i> dari koridor ke unit. • Diameter <i>solar chimney</i> 3 m x 1,5 m x 0.72 • Ketinggian <i>floor to floor</i> apartemen 3 m • Konfigurasi terbuka

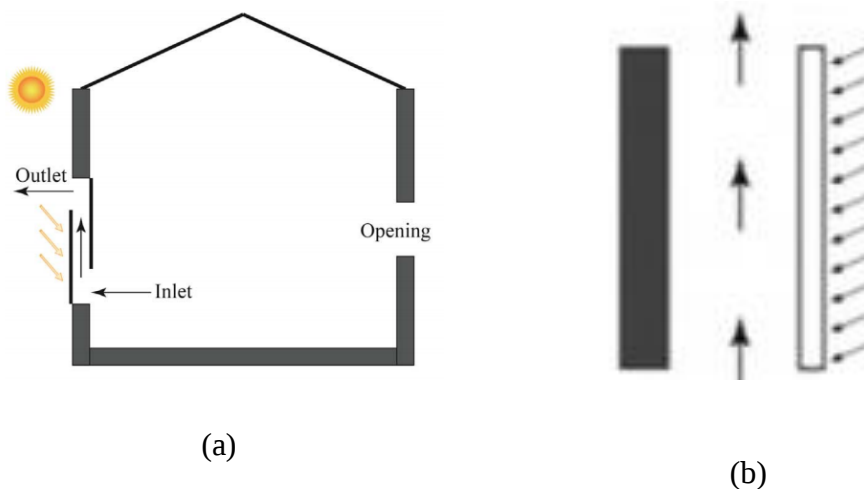
2.6 Sintesis Kajian Pustaka



Gambar 2.11 Pola Berpikir

Penghawaan pasif menjadi solusi yang dapat mengurangi penggunaan energi berlebihan pada unit apartemen. Pada kasus apartemen di Surabaya yang menggunakan sistem penghawaan *wind pressure* (penghawaan satu sisi) tidak dapat mengalirkan udara dan mengganti udara di dalam ruangan dengan baik

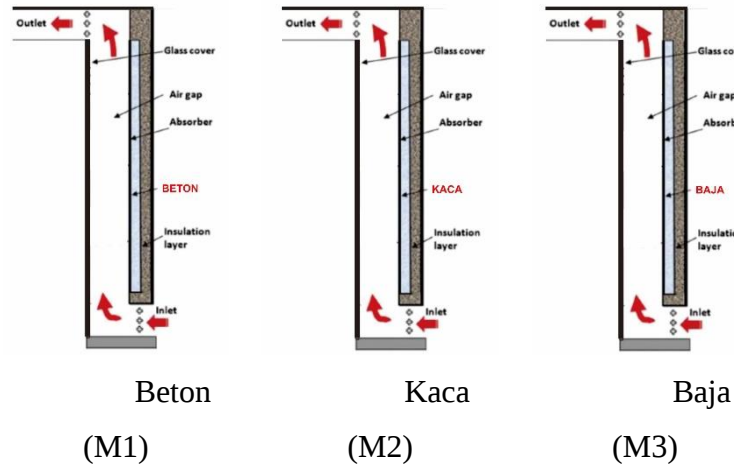
dikarenakan tipe *corridor double loaded* dimana hanya terdapat satu pintu dan satu jendela pada unit apartemen. Alternatif agar unit apartemen mendapatkan aliran udara bahkan pergantian udara pada bangunan dengan menggunakan *stack effect* dalam bentuk *solar chimney*. Sistem kerja *solar chimney* adalah menyedot udara dengan perbedaan temperatur antara *inlet* dan *outlet*. Perbedaan temperatur dihasilkan oleh pemanasan salah satu bidang *solar chimney*, proses pemanasan bidang ini ditentukan oleh pemilihan material yang dapat menghantarkan panas dengan cepat. *Solar chimney* tidak hanya meningkatkan penghawaan bangunan terutama selama hari-hari panas, tetapi juga meningkatkan kualitas udara di dalam gedung; selain itu dapat meminimalkan kebisingan yang berasal dari luar bangunan dengan material yang ada, seperti : beton, kaca, baja anti karat, dan PCM (gambar 2.14). Untuk mempermudah dalam proses simulasi dan analisa maka semua material dan konfigurasi bentuk *solar chimney* (gambar 2.10) diberi kode sebagai berikut:



Gambar 2.12 (a) Aplikasi pada dinding tipe C; (b) dengan tipe *solar chimney*.
Sumber: Long Shi, dkk, 2018; Sankondou dkk (2008).

Sistem kerja *solar chimney* juga dilihat dari konfigurasi bentuk yang berpengaruh terhadap ketinggian bangunan apartemen. Setelah pemberian kode pada material dan konfigurasi bentuk, berikut tabel simulasi yang akan dilakukan dengan menggunakan CFD dengan aplikasi Ansys 2018. Hasil yang diharapkan adalah bentuk konfigurasi mana yang lebih efektif terhadap ketinggian bangunan dengan jenis material yang mempercepat proses pemanasan bidang agar

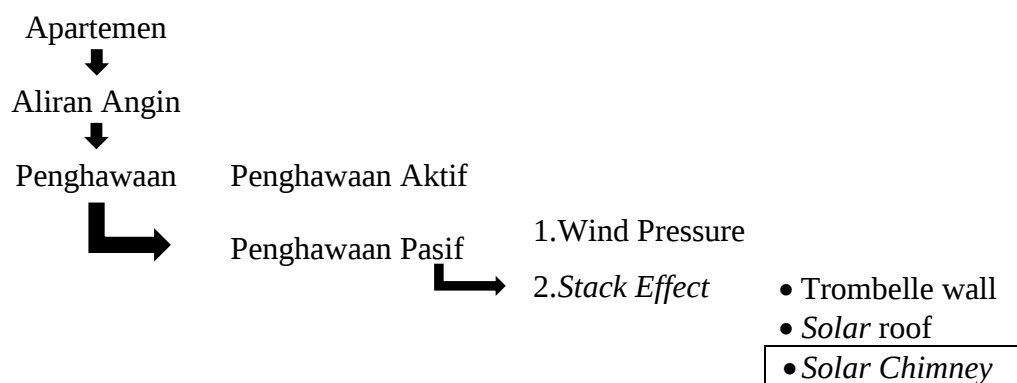
menghasilkan aliran udara dan penggantian udara yang baik dan dapat menjadi konsep dalam perencanaan penghawaan pasif unit apartemen.



Gambar 2.15 Pemberian kode material

Berdasarkan penjelasan kajian pustaka, peningkatan kinerja penghawaan pasif pada bangunan *high-rise* dipengaruhi oleh angin yang ada di sekeliling bangunan. Parameter desain pendinginan pasif pada bangunan mengacu pada orientasi peletakan bangunan, dimensi, geometri, luasan, material, bukaan dan pembayangan. Penghawaan pasif menjadi alternatif yang dapat mengurangi penggunaan energi berlebihan pada unit apartemen. Apartemen di Surabaya yang menggunakan sistem penghawaan satu sisi, tidak dapat mengalirkan udara dan mengganti udara di dalam ruangan dengan baik. Hal tersebut dikarenakan tipe koridor *double loaded* dimana hanya terdapat satu pintu dan satu jendela pada unit apartemen. Strategi yang disarankan untuk mendapatkan aliran udara bahkan pergantian udara pada bangunan dengan menggunakan *stack effect* dalam bentuk *solar chimney*. Perbedaan temperatur dihasilkan oleh pemanasan salah satu bidang *solar chimney*, proses pemanasan bidang ini ditentukan oleh pemilihan material yang dapat menghantarkan panas dengan cepat. *Solar chimney* tidak hanya meningkatkan penghawaan bangunan terutama selama hari-hari panas, tetapi juga meningkatkan kualitas udara di dalam gedung; selain itu dapat meminimalkan kebisingan yang berasal dari luar bangunan dengan material yang ada, seperti : beton, kaca, baja. Sistem kerja *solar chimney* yang dipengaruhi oleh radiasi dan perbedaan temperatur. Untuk mendapatkan perbedaan temperatur pada bangunan,

maka dilakukan penelitian lebih lanjut tentang material yang dapat menyerap radiasi matahari. Dalam penelitian ini konfigurasi yang diteliti adalah konfigurasi terbuka, untuk melihat sistem kerja *solar chimney* pada bangunan *high-rise*. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah jenis material yang mempercepat proses pemanasan bidang pada apartemen *high-rise* dengan tipe konfigurasi terbuka yang memenuhi standar kenyamanan psikologis agar dapat menjadi salah satu alternatif konsep dalam perencanaan penghawaan pasif unit apartemen.



Gambar 2.16 Pola Berpiki Kajian Pustaka

2.7 State Of The Art

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan strategi desain penghawaan pasif pada unit apartemen, menggunakan *solar chimney* yang diterapkan pada bangunan apartemen *high-rise* di Surabaya.

Waraporn (2017) menyatakan dimensi *solar chimney*, seperti; panjang, lebar, dan tinggi bangunan memiliki efek pada kecepatan udara hingga 0,137 m³/s. Kedalaman rongga dapat mempengaruhi kecepatan udara di dalam cerobong, Kalkan (2016). Radiasi matahari juga dapat mempengaruhi mekanisme kinerja *solar chimney* melalui pemanasan pada salah satu bidang cerobong. (Shi, dkk, 2018). Menurut Taylor (2002), besi dan beton merupakan material konstruksi dengan konduktivitas thermal yang paling tinggi di antara material lain yakni sebesar 200 W/m °C dan 84 W/m °C. Sedangkan Amin (2016) berpendapat material penyusun *solar chimney* yang paling ideal adalah logam atau beton (bisa juga digabungkan/komposit). Agar radiasi matahari tidak mengurangi kenyamanan pengguna bangunan maka antara dinding ruangan dan dinding *solar chimney*

diinsulasi dengan *styrofoam*. Selain material tersebut, material kaca dan aluminium dapat digunakan sebagai fasad untuk memaksimalkan matahari masuk ke dalam cerobong, Taylor (2002); Amin (2016). Tidak hanya pada fasad material kaca juga digunakan sebagai dinding dan atap *solar chimney*, hal ini bertujuan untuk meningkatkan daya apung didalam cerobong melalui proses pemanasan dengan sifat kaca yang transparan, memantulkan, dan menyerap (Lee, dkk, 2015). *Solar Chimney* dengan material baja juga dapat menyerap panas dengan mudah. Selain itu, bahan ini sangat cocok untuk meningkatkan aliran udara di dalam gedung atau rumah. Cerobong yang dibuat dengan plat baja tebal 1 mm, dengan ketinggian 3 m menghasilkan aliran udara 0,26 m/s, Waraporn (2017).

Kesimpulan dari penelitian ini adalah pengaplikasian *solar chimney* dengan tiga material; beton, kaca, dan baja. Kinerja ketiga material tersebut dibandingkan dengan ketinggian bangunan pada iklim tropis di Surabaya. Untuk menghasilkan alternatif penghawaan pasif pada unit apartemen. Posisi penelitian dijelaskan dalam Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Posisi Penelitian

		Konfigurasi Bentuk		Ketinggian Bangunan		Material		
		Terbuka	Tertutup	High-rise	Low-rise	Beton	Kaca	Baja
Iklim	Non Tropis							
	Tropis							
Aplikasi pada	Dinding							
	Atap							
	Kombinasi							
Dimensi	Inlet							
	Outlet							

Keterangan:

-  Sudah Dilakukan Penelitian
-  Posisi Penelitian

(halaman sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Paradigma Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan konsep sistem penghawaan pasif pada unit apartemen yang memanfaatkan *solar chimney* dan diterapkan pada bangunan apartemen *high-rise* di Surabaya. Agar pengaruh dari variabel-variabel yang diteliti dapat diamati dengan jelas, maka penelitian harus dilakukan secara objektif. Berdasarkan Groat dan Wang (2013), kriteria mengenai paradigma positivism dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Data yang digunakan di dalam penelitian harus sesuai dengan fenomena yang direpresentasikan. Penelitian ini menggunakan data dari BMKG sebagai sumber data, khususnya mengenai kecepatan angin di kota Surabaya
2. Penelitian harus bersifat umum
3. Instrumen penelitian harus dapat menghasilkan hasil yang konsisten. Untuk memperoleh hasil yang konsisten, penelitian ini menggunakan *software* yang sudah banyak digunakan pada penelitian lainnya (*Ansys Fluent*)
4. Penelitian bersifat objektif serta memiliki metode yang jelas dan hasilnya dapat diuji kembali dengan hasil yang konsisten.

3.2 Metode Penelitian

Pemilihan metode penelitian ini harus disesuaikan juga dengan kebutuhan penelitian. Untuk mengetahui kinerja penghawaan dan pengaruh bahan permukaan dari *solar chimney* maka diperlukan metode penelitian yang memiliki fokus untuk melihat pengaruh dari variabel serta dapat melakukan manipulasi terhadap variabel-variabelnya. Berdasarkan kebutuhan tersebut, maka metode penelitian eksperimental dipilih sebagai metode di dalam penelitian ini. Berdasarkan Groat dan Wang (2013).

1. Penggunaan *treatment* dalam penelitian atau variabel independen. Variabel independen ini dapat berupa variabel bebas yang dapat dimanipulasi oleh peneliti maupun variabel kontrol yang dibuat tetap selama penelitian.

2. Adanya pemilihan *unit of assignment*, yaitu objek penelitian tersebut yang dapat dipilih secara acak maupun menggunakan kriteria tertentu.
3. Dapat dilakukannya pengukuran pada satu atau lebih variabel terikat yang merupakan dampak dari treatment yang dilakukan pada objek penelitian.
4. Metode ini memberikan fokus yang besar terhadap pengaruh yang disebabkan oleh variabel-variabelnya.

3.3 Data dan Teknik Pengumpulan Data

Terdapat dua jenis data yang diperlukan di dalam penelitian, yaitu:

1. Data Primer, yaitu data yang dihasilkan oleh peneliti secara langsung. Di dalam penelitian ini yang termasuk data primer adalah data dari hasil simulasi. Data dari hasil simulasi yang digunakan adalah berupa data kecepatan aliran udara untuk mengukur efek pendinginan yang dihasilkan serta debit aliran udara untuk mengukur keseragaman distribusi aliran udara.
2. Data Sekunder, yaitu data yang telah dikumpulkan dan disusun oleh pihak lain, yaitu:
 - Data untuk pemodelan bangunan, yaitu data berupa denah serta foto atau Gambar bangunan untuk menentukan bentuk bangunan, jumlah lantai bangunan serta ketinggian bangunan. Data tersebut dapat diperoleh dari brosur atau dari internet.
 - Data iklim untuk simulasi. Data utama yang diperlukan untuk simulasi CFD adalah data kecepatan angin untuk wilayah Surabaya. Data ini dapat diperoleh dari BMKG.
 - Data iklim untuk menganalisis, yaitu data temperatur udara, kelembaban wilayah Surabaya, dan data ini juga diperoleh dari BMKG.
 - Data-data untuk kajian pustaka dapat diperoleh dari buku dan jurnal. Hasil dari kajian pustaka tersebut digunakan sebagai dasar untuk menentukan variabel penelitian serta untuk menganalisa hasil eksperimen.
3. Teknik Pengumpulan Data
 - Kajian Pustaka
 - Pengumpulan Data dari BMKG

- Dokumentasi Data
- Simulasi

3.4 Identifikasi Variabel Penelitian

Berdasarkan Groat dan Wang (2013), penelitian eksperimen juga dapat menggunakan bantuan komputer atau pemodelan sebagai taktik untuk mencapai tujuan di dalam penelitian. Pada penelitian ini simulasi digital dipilih sebagai taktik utama karena tingginya tingkat kesulitan untuk melakukan modifikasi pada bangunan sebenarnya, yaitu kesulitan secara teknis, serta membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar. Kesulitan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan simulasi digital. Program simulasi yang digunakan adalah *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang dapat menghasilkan *output* berupa pola pergerakan aliran udara beserta kecepatannya. CFD telah menjadi alat yang berguna bagi desainer dan peneliti dalam studi lingkungan *indoor* dan *outdoor* kondisi dalam desain bangunan. Parameter-parameternya seperti kecepatan udara dan kelembapan relatif yang dipecahkan oleh CFD, sangat penting untuk mendesain suatu lingkungan kenyamanan dalam ruangan yang dapat diterima. Teknik CFD telah diterapkan untuk menganalisis kinerja penghawaan (Murakami 1992); Liddament 1992). Papakonstantinou dkk (2000) telah menunjukkan bahwa solusi numerik untuk masalah penghawaan dapat diperoleh dengan cepat dan baik.

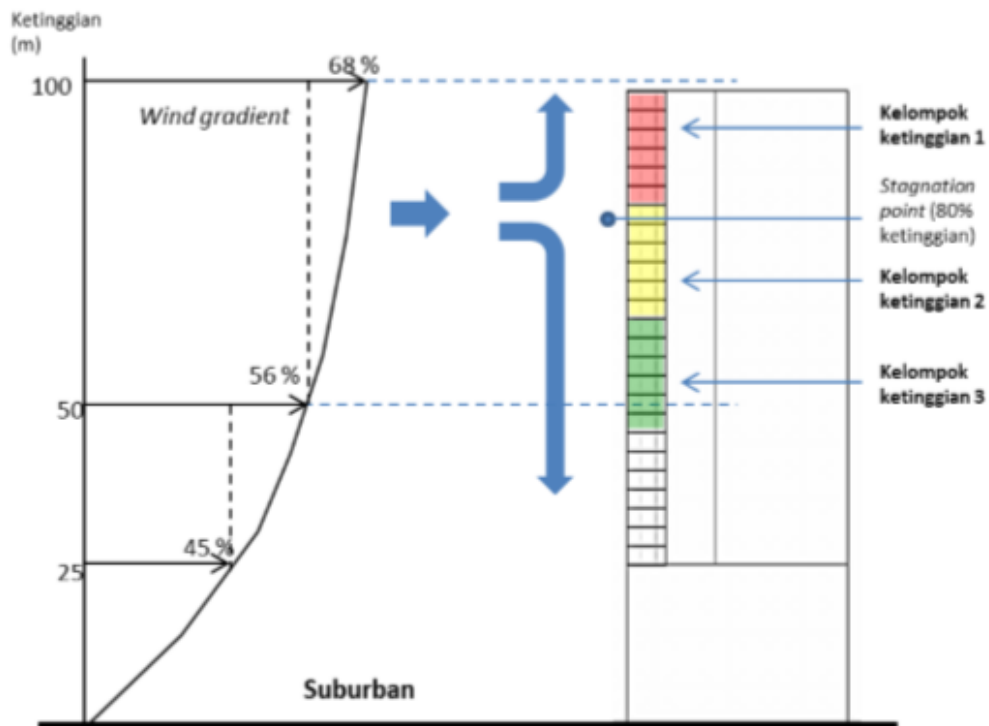
Berdasarkan Groat dan Wang (2002), di dalam penelitian eksperimental terdapat 5 karakteristik utama yaitu penggunaan *treatment* atau variabel bebas, adanya variabel terikat, adanya *unit of assignment* yang jelas, adanya grup kontrol serta fokus terhadap *causality* atau faktor sebab-akibat. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai variabel bebas, terikat, serta grup kontrol.

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel ini adalah variabel yang akan mempengaruhi variabel terikat. Variabel ini yang nantinya akan dimanipulasi untuk mengetahui efek yang terjadi pada variabel terikat.

1. Variabel ketinggian.

Variabel ketinggian ini merupakan salah satu variabel yang penting dalam menentukan rancangan eksperimen. Eksperimen yang akan dilakukan dapat dibagi menjadi 3 kelompok besar berdasarkan ketinggiannya. Pembagian ini juga menentukan seberapa banyak percabangan pada *solar chimney* atau dengan kata lain jumlah lantai yang terhubung *solar chimney*. Pembagian ini didasarkan pada teori *wind gradient* di sekitar bangunan (Aynsley, 1977).



Gambar 3.1 Ilustrasi penentuan kelompok ketinggian (Elshaer, (2016); diadaptasi oleh Fahmi, dkk (2017))

Ilustrasi di atas menunjukkan dasar pembagian kelompok eksperimen berdasarkan variabel ketinggian. Kelompok-kelompok tersebut ditetapkan berdasarkan teori mengenai pergerakan aliran udara (Aynsley, 1977) yang menyatakan bahwa di atas titik stagnan (berada pada sekitar 80% ketinggian bangunan) angin akan menuju ke atas, sementara di bawah titik stagnan, angin akan bergerak vertikal ke bawah, Fahmi (2018). Percobaan konfigurasi terbuka akan diuji pada ketinggian yang sudah ditetapkan seperti pada Tabel 3.1. Objek penelitian memiliki ketinggian 102 m dari permukaan tanah dengan 5 lantai podium dan 25 lantai unit apartemen.

Tabel 3.1 Variabel Ketinggian

Lantai (m)	Ketinggian dari podium bangunan (m)	Kecepatan Angin (m/s)
8	36	4.38
17	63	4.90
25	87	5.18

Pada kelompok ketinggian seperti pada Tabel diatas, terbagi atas 3 kelompok. Hal tersebut didasarkan pada pembagian zona yaitu zona bawah, tengah dan atas, seperti pada Tabel 3.1. zona penelitian mewakili dari 25 lantai unit apartemen, dimana lantai-lantai di bawahnya yaitu lantai 7, podium hingga lantai dasar tidak termasuk dalam kelompok yang diuji.

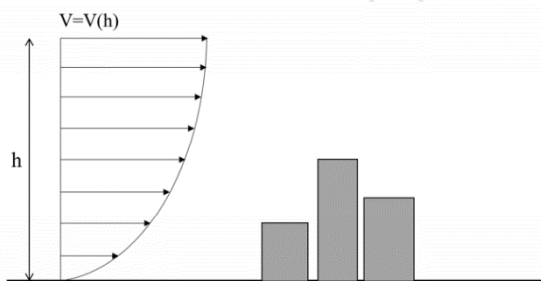
2. Variabel Material

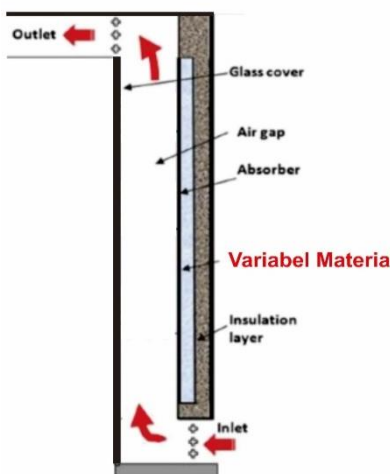
Solar chimney tidak hanya meningkatkan penghawaan bangunan terutama selama hari-hari panas, tetapi juga meningkatkan kualitas udara di dalam gedung; selain itu dapat meminimalkan kebisingan yang berasal dari luar bangunan dengan material yang ada, seperti : beton, kaca, baja dengan ketentuan kode simulasi sebagai berikut:

Tabel 3.2 Variabel Material

Beton (kg/cm ²)	Kaca (m/mm)	Baja (kg/cm ³)
M1	M2	M3

Tabel 3.2 Variabel Ketinggian dan Material

Variabel	Definisi Oprasional
Ketinggian	 Merepresentasikan kawasan objek penelitian dan ketinggian objek yang diamati, maka diperlukan penyesuaian data tersebut dengan menggunakan <i>power law</i>.

Variabel	Definisi Oprasional	
Beton (K) (M1)		Kg/cm ²
Kaca (M2)		m/mm
Baja (M3)		Kg/m ³

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel ini merupakan pengukuran terhadap pengaruh yang ditimbulkan oleh variabel bebas. Aspek yang menjadi variabel terikat merupakan parameter keberhasilan kinerja penghawaan pasif. Kinerja penghawaan pasif pada penelitian ini ditinjau pada aspek penyejukan fisiologis dan kualitas udara pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Variabel Terikat

Variabel	Sub-Variabel	Definisi Operasional
Penyejukan Fisiologis	Kecepatan Angin	Nilai kecepatan angin rata-rata. Kecepatan angin <i>inlet</i> dan <i>outlet</i>
	Pergerakan Angin	Arah dan distribusi aliran angin pada zona penelitian.
Kualitas Udara	Kecepatan Angin	Kecepatan angin rata-rata pada zona penelitian, dari <i>inlet</i> menuju <i>outlet</i>
	Pergantian udara (ACH)	Jumlah nilai debit udara yang masuk dan keluar setiap jamnya.
	Pergerakan Angin	Arah pergerakan angin masuk dan meninggalkan ruangan.

Hasil dari variabel terikat mengenai kualitas udara, Akan dibandingkan dengan nilai standar pertukaran udara pada rumah tinggal dari SNI (Standar Nasional Indonesia) 03-6572-2001. Pada SNI, nilai standar pertukaran udara lebih

spesifik bergantung dari fungsi ruangan. Standar nilai ACH berdasarkan SNI terdapat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Standar Nilai ACH

Fungsi Ruang	Nilai ACH (Air Change per Hour)
Ruang Tidur	5-6
Kamar Mandi	6-7
Ruang Keluarga	6-8
Dapur	7-8
Ruang Cuci	8-9

Sumber: SNI 03-6572-2001

Sedangkan mengenai penyejukan fisiologis, parameter pembanding bersifat relatif bergantung dari kondisi termal pada ruangan. Nilai kecepatan angin rata-rata akan dibandingkan dengan nilai perhitungan VC (*Velocity comfort*) dari persamaan 2.4.

3.4.3 Variabel Kontrol

Grup kontrol ini merupakan model eksperimen yang tidak mendapatkan *treatment*. Sehingga perlu dilakukan isolasi pada variabel yang berpotensi berpengaruh pada hasil eksperimen. Tujuan dari isolasi dilakukan agar hasil penelitian bisa menjadi lebih fokus. Pada Tabel 3.5 menjelaskan beberapa variabel kontrol yang nilainya tetap.

Tabel 3.5 Variabel Kontrol

Variabel	Sub-Variabel	Definisi Operasional
Bukaan <i>Inlet</i>	Dimensi	2 x 0.9 m
	Posisi	Terletak pada bagian depan, arah angin masuk kedalam unit.
<i>Solar Chimney</i>	Dimensi	1.5 x 3 x 0.72 m
	<i>Inlet</i>	Terletak pada bagian bawah yang menghubungkan ruang keluarga dan cerobong, dengan diameter 0.6 x 0.4 m.
	<i>Outlet</i>	Terletak pada bagian luar atas yang menghubungkan cerobong dan luar bangunan, dengan diameter 0.6 x 0.4 m.
Ketinggian <i>floor to floor</i>	Ruang Keluarga	3 x 6 m dengan ketinggian 3 m.

Waktu	11.00 – 15.00	Pengukuran lapangan dan simulasi verifikasi
	12.00	Perbandingan kinerja kecepatan angin dan temperatur <i>solar chimney</i> .

3.5 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah bangunan apartemen di Surabaya, Indonesia. Tipe bangunan adalah apartemen *high-rise* yang memiliki sistem sirkulasi *double loaded* sehingga menjadikan sistem penghawaan silang pada unit menjadi tidak efektif.

3.5.1 Populasi Penelitian

Kepadatan penduduk mengakibatkan tingkat pembangunan yang tinggi, dimana kebutuhan rumah tinggal adalah hal penting akhir – akhir ini. Kurangnya lahan menjadikan perubahan pertumbuhan bangunan rumah tinggal yang awalnya adalah bangunan horizontal menjadi bangunan vertikal. Di kota Surabaya sendiri pembangunan hunian vertikal terbagi menjadi dua bagian, yaitu; apartemen dan rumah susun. Yang membedakan dua bangunan tersebut adalah fasilitas yang ditawarkan di dalam bangunan, dijelaskan dalam Tabel 3.6. Umumnya, rumah susun dilengkapi dengan prasarana dasar, seperti jaringan jalan, drainase, sanitasi, air bersih dan tempat sampah. seperti pada Tabel berikut.

Tabel 3.6 Perbandingan Fasilitas

Fasilitas	Apartemen	Rumah Susun Sederhana
Fasilitas Publik	✓	-
Kolar Renang	✓	-
Jalur Sirkulasi	Lift dan tangga	Tangga
Sistem Penghawaan	Aktif / pasif (AC dan jendela)	Aktif / Pasif (Kipas dan jendela)
Listrik	✓	✓
PDAM	✓	✓
Telpon	✓	✓

Perbandingan unit apartemen dan rumah susun di kota Surabaya dilakukan untuk melihat tingkat penggunaan energi bangunan melalui banyaknya unit. Hasil yang didapatkan, unit apartemen memiliki total 34.124 dan hampir setiap unit

menggunakan *air conditioner* (AC), bahkan pada area ruang keluarga dan dapurpun menggunakan peralatan mekanis yang sama untuk sistem pengondisian udara. Hal ini yang menjadi dasar pemikiran mengaplikasikan penghawaan pasif dalam bentuk *solar chimney* di zona ruang keluarga dan dapur untuk mengurangi tingkat penggunaan energi yang besar dari sebuah apartemen. Dengan pertimbangan kenyamanan pengguna bangunan. Tidak hanya rumah susun pengguna apartemen tentu mengharapkan penghawaan pasif dapat menghasilkan pergantian udara setiap jam di dalam dan di luar bangunan untuk menghasilkan udara segar, sebagai pendinginan psikologis, dan menghilangkan udara panas dalam bangunan.

3.5.2 Sampel Penelitian

Untuk mendapatkan sampel penelitian sesuai dengan yang di harapkan maka harus memperhatikan karakteristik apartemen yang ada di kota Surabaya, dan persyaratan yang berhubungan dengan kriteria apartemen.

1. Karakteristik Apartemen di Surabaya

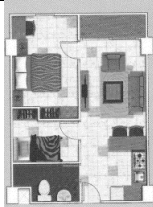
- Dominan apartemen di Surabaya adalah *high-rise* dengan ketinggian 20 – 30 lantai
- Type *double-loaded interior corridor*

2. Persyaratan Sampel

Pemilihan sampel penelitian adalah hasil dari populasi bangunan dimana penentuan kriteria bangunan mempertimbangkan :

- Jumlah unit, dimana jumlah unit terbanyak memiliki peluang penyumbang penggunaan energi terbesar didalam satu tower apartemen.
- Ketinggian bangunan, dimana penelitian ini melihat sistem kerja *solar chimney* terhadap ketinggian. Pemilihan tipe bangunan *high rise* dengan minimal ketinggian 20 lantai. Apartemen yang memiliki tipe unit, 1,2,3 BR. Hal ini dikarenakan zona penelitian pada ruang keluarga dan dapur yang tidak menggunakan AC.
- Apartemen dengan tipe koridor *double-loaded*
- Pertimbangan persyaratan *solar chimney* pada bangunan :
- Berada di sisi luar yang terkena radiasi matahari dan tidak terbayangi.
- Terdapat area tempat *solar chimney* dengan jarak 1 – 1,5 m

Tabel 3.7 Reduksi Sampel Penelitian

NO	Apartemen		Persyaratan Sampel Penelitian						
			1	2	3	4	5	6	7
1.	Puncak Bukit Golf 29 lantai apartemen 4 lantai podium Studio = 22.8; 20.1 m ² (nett) 2BR = 41.8; 36.85 m ² (nett)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
2.	Puncak Kertajaya 20 lantai apartemen 2 lantai podium Studio = 18 m ² 2 BR = 30 m ²		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3.	Bale Hinggil 25 lantai apartemen 5 lantai podium Studio = 18 m ² 2 BR = 36 m ²		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4.	Puncak Dharmahusada 35 lantai apartemen 4 lantai podium Studio = 21.32 2 BR = 35.21; 42.4 ; 56.74 m ² 3BR = 78.13 ; 98.68 ; 92.72 m ²		✓	✓	✓	✓	✓	✓	

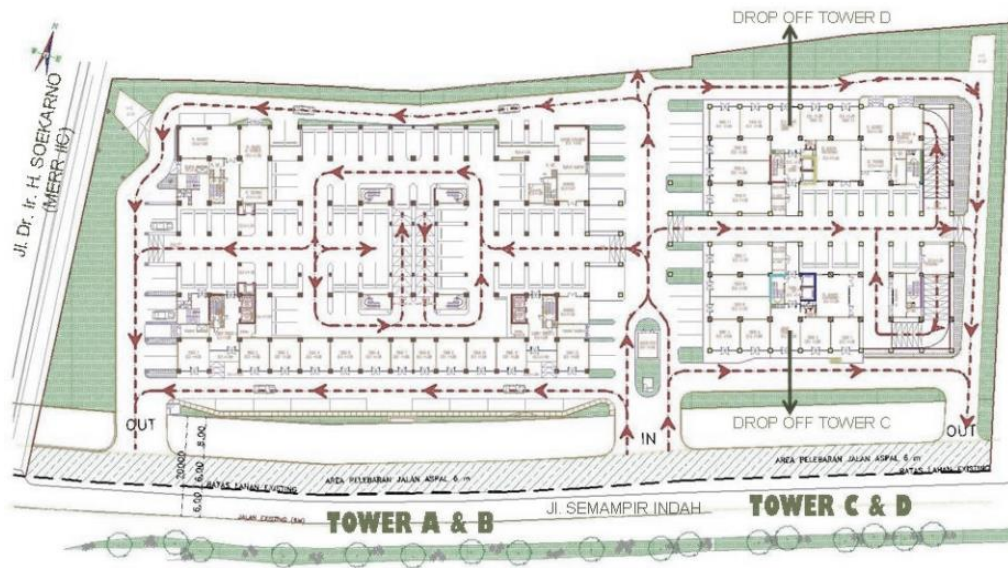
NO	Apartemen		Persyaratan Sampel Penelitian						
			1	2	3	4	5	6	7
5.	Educity		√		√	√	√	√	
6.	Puncak Permai 20 lantai apartemen 3 lantai podium Studio = 27 m ² 2 BR = 36 m ²		√	√	√	√	√	√	

Keterangan:

1. Memiliki ketinggian 20 – 30 lantai apartemen
2. Memiliki podium
3. Jumlah unit(>500 unit) memiliki peluang penyumbang penggunaan energi besar pula didalam satu tower apartemen
4. Apartemen yang memiliki tipe unit, 1,2,3 BR. Hal ini dikarenakan zona penelitian pada ruang keluarga dan dapur yang tidak menggunakan AC.
5. Apartemen dengan tipe koridor *double-loaded*
6. Terdapat dinding yang berada di sisi luar yang terkena radiasi matahari dan tidak terbayangi.
7. Terdapat area tempat *solar chimney* dengan jarak 1 – 1,5 ms

4. Sampel Terpilih

Hasil dari analisa diatas apartemen terpilih adalah Bale Hinggil, apartemen ini memenuhi kriteria apartemen dimana kriteria perletakan *solar chimney* pada unit terpilih. Bale Hinggil memiliki 2 tower apartemen, tower A dan tower B yang dijelaskan pada Gambar 3.2. Pengukuran untuk validasi pada tower A, seperti pada Gambar 3.3, sedangkan penelitian ini dilakukan pada tower B.



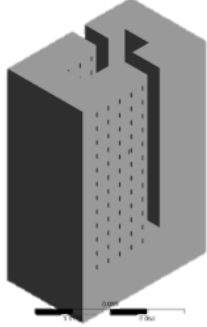
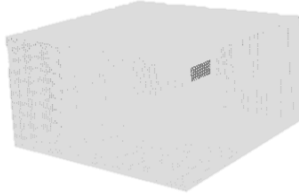
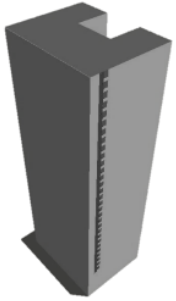
Gambar 3.2 Site Plan Bale Hinggil (balehinggil.co.id)

3.6 Model Experimen

Ada beberapa tahapan permodelan dalam penelitian ini yang dijelaskan dalam Tabel 3.8, hal tersebut dikarenakan keterbatasan dari aplikasi yang digunakan sehingga membutuhkan aplikasi lain, seperti:

1. Permodelan 3D Autocad
2. Permodelan 3D Gambit
3. Permodelan 3D Desain Builder

Tabel 3.8 Permodelan

	CFD Koridor	CFD Solar Chimney	Desain Builder
			
Dimensi Unit	12 m ²	12 m ²	12 m ²
Floor to floor	3 m	3 m	3 m
$\sum$ Inlet	1.8 m ²	2.12 m ²	2.12 m ²
$\sum$ Outlet	0.9 m ²	-	0.32 m ²
Podium	5 lt	0.32 m ²	-
Apartemen	25 lt	-	5 lt
Tinggi bangunan	102 m	-	25 lt
Tipe courtyard	2U	-	102 m
Tower	A & B	-	-

Tabel 3.9 Kode Simulasi

Ketinggian		Material		
Lantai (Lt)	Bangunan (m)	Beton (kg/cm ²)	Kaca (m/mm)	Baja (kg/cm ³)
8	36	M1-8	M2-8	M3-8
17	63	M1-17	M2-17	M3-17
25	87	M1-25	M2-25	M3-25

Untuk mempermudah dalam tahapan simulasi dan penjelasan dari hasil simulasi yang dilakukan setiap model maka diberikan kode simulasi Tabel 3.11.

Tabel 3.10 Rencana Hasil Simulasi *Outdoor* dan Koridor

Jam	T outdoor (m/s)	Ti Koridor (m/s)
1.00		
12.00		
13.00		
14.00		
15.00		

Tabel 3.11 Rencana Hasil Eksperimen

Ketinggian (m)	Hasil VC pada setiap ketinggian		
	Beton (kg/cm ²)	Kaca (m/mm)	Baja (kg/cm ³)
36			
63			
87			

3.7 Rancangan Simulasi

Seperti halnya permodelan, rancangan simulasi dalam penelitian inipun terbagi atas dua bagian; (1) Simulasi CFD untuk melihat aliran angin pada bangunan dan ruang, (2) simulasi *design builder* untuk melihat temperatur pada bangunan. Rencana simulasi pada CFD dan *design builder* dijelaskan dalam Tabel 3.13.

Tabel 3.12 Rencana Simulasi

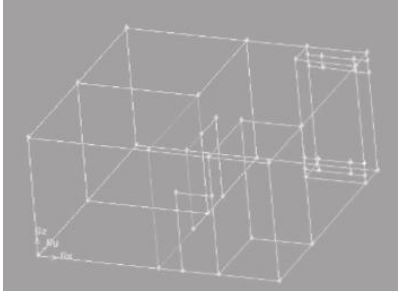
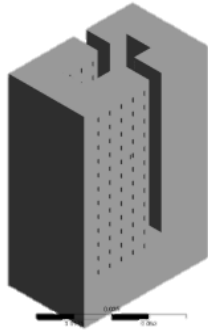
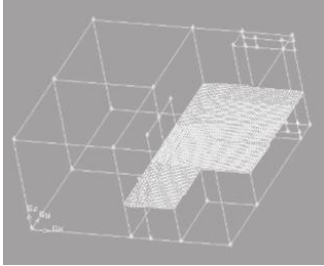
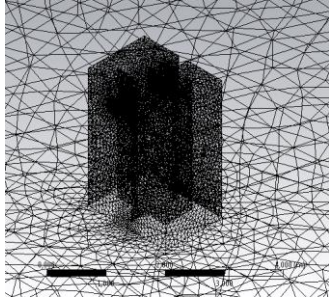
Variabel	Sub Variabel		Permodelan								
Material	Beton	M1	•	•	•						
	Kaca	M2				•	•	•			
	Baja	M3							•	•	•
Ketinggian	36 m	B8	•			•			•		
	63 m	B17		•			•			•	
	78 m	B25			•			•			•
Kode Simulasi			M1 B8	M1 B17	M1 B25	M2 B8	M2 B17	M2 B25	M3 B8	M3 B17	M3 B25

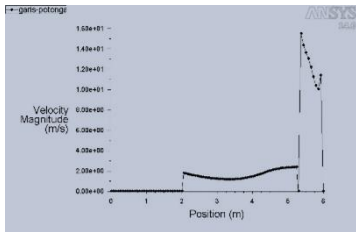
3.7.1 Simulasi CFD

Prediksi aliran angin dalam penelitian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). CFD merupakan salah satu metode untuk penelitian terkait pergerakan aliran seperti angin pada lingkungan terbangun. Perkembangan teknologi terkait CFD memungkinkan untuk melakukan simulasi aliran angin pada sebuah lingkungan menggunakan. Salah satu software yang digunakan untuk analisis CFD adalah ANSYS fluent. Software ini memiliki kemampuan analisis dan kalkulasi prediksi aliran angin pada suatu objek seperti bangunan. Penggunaan CFD sebagai alat Bantu simulasi tidak memiliki tingkat akurasi 100%, karena bentuk model yang mengalami simplifikasi. Sehingga

perlu dilakukan Verifikasi hasil simulasi dengan pengukuran lapangan untuk mengetahui seberapa banyak deviasi (penyimpangan) pada hasil simulasi.

Tabel 3.13 Rencana Hasil Eksperimen

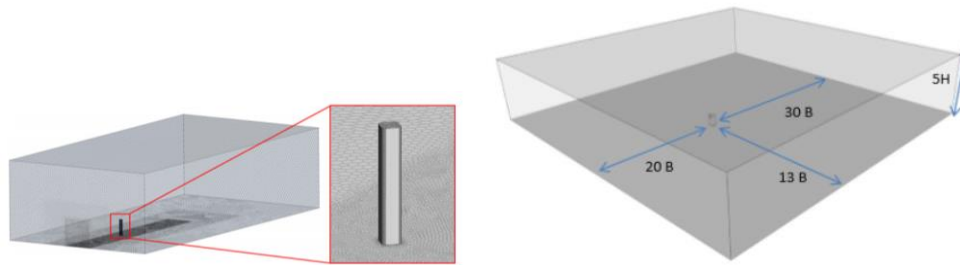
Prosess	Gambit	3D Autocad
Permodelan	 Tahapan pembuatan model: • <i>Vertex</i> • <i>Edge</i> • <i>Face</i> • <i>Volume</i>	 Tahapan pembuatan model: • <i>Line</i> • <i>Extrude</i>
Mesh		
Setting	Masuk: Fluent • <i>General</i> • <i>Model</i> • <i>Materials</i> • <i>Bondary Conditions</i> • <i>Reference Values</i> • <i>Solution Initialization</i> • <i>Run Calculation</i>	Masuk: • Geometri • <i>Import external geometri file (file iges)</i> • <i>Namakan semua selection</i> • Mesh • Setup • <i>Models</i> • <i>Materials</i> • <i>Boundary Conditions</i> • <i>Reference Values</i> • <i>Solution Initialization</i> • <i>Run Calculation</i> • Result
Plots data	• <i>Buat surface pada sumbu yang dibutuhkan</i>	-

Prosess	Gambit	3D Autocad
	• Plots 	
Mengambil Hasil	• Buat <i>surface</i> pada sumbu yang dibutuhkan • <i>Graphics and animations</i> • Pilih tipe gambar dalam bentuk (<i>contur</i>, <i>vector</i>, dll) • Buat JPG/PNG	• <i>Location</i> • <i>Plane</i> • <i>Geometri</i> • Pilih tipe gambar dalam bentuk (<i>contur</i>, <i>vector</i>, dll) • Buat JPG/PNG

3.7.2 Pembuatan Domain

Selain itu, dalam proses pemodelan ini juga dilakukan penentuan ukuran domain yang akan digunakan di dalam simulasi seperti pada Gambar 3.3. Ukuran domain ini adalah besarnya volume lingkungan yang digunakan di dalam simulasi CFD. Ukuran domain yang digunakan berdasarkan rekomendasi dari (Revuz dkk, 2012; Elshaer, 2017; dan Fahmi dkk, 2017) mengenai domain CFD yang sesuai untuk bangunan *high-rise*. Rekomendasi tersebut yaitu:

- Jarak dari tepi bangunan ke batas domain arah *up wind* adalah minimal 20 kali lebar bangunan atau 2 kali tinggi bangunan, dengan memilih yang paling besar di antara keduanya.
- Jarak dari tepi bangunan ke batas domain arah *down wind* adalah minimal 30 kali lebar bangunan atau 3 kali tinggi bangunan, dengan memilih yang paling besar di antara keduanya.
- Jarak dari tepi atas bangunan ke batas domain bagian atas adalah minimal 4 kali tinggi bangunan.
- Jarak dari tepi bangunan ke batas samping domain adalah minimal 13 kali lebar bangunan.



Gambar 3.3 Ilustrasi besaran domain atau lingkungan yang diperlukan untuk simulasi CFD berdasarkan lebar (B) dan ketinggian bangunan (H) (Fahmi dkk, 2017)

Terdapat tiga tahapan dalam melakukan simulasi CFD, yaitu *Processing*, *Solving* dan *Post Processing*.

1. *Processing: Geometrical Model dan Meshing*

Tahap *Processing* juga disebut sebagai tahapan pemodelan. Pada tahapan ini dilakukan pembuatan model *meshing*. Terdapat dua objek utama yang perlu diperhatikan pemodelan yaitu bangunan objek (*target building*) dan domain pada Gambar 3.3 dari bangunan. Domain pada model CFD juga disebut sebagai *boundary layer*. *Boundary layer* merupakan bentuk representatif dari ABL (*Atmospheric Boundary Layer*) yaitu kondisi lingkungan aliran angin di sekitar objek bangunan. Pada domain tidak perlu membuat bentuk objek yang sama persis dengan kondisi lingkungan, kondisi tersebut sudah menjadi bagian dari input *terrain roughness* dari *boundary layer*. Bentuk domain *boundary layer* yang disarankan oleh Revuz dkk (2012); Elshaer (2017); dan Fahmi dkk (2017) Pada aplikasi ANSYS 14.0, pemodelan dapat dilakukan menggunakan fitur geometri dari ANSYS atau bisa menggunakan *software* pemodelan seperti GAMBIT dan AutoCAD 3D. *Meshing* merupakan tahapan impor model pada ANSYS untuk mengetahui tingkat kualitas dari geometri. Pada tahap ini dilakukan pemilihan jenis opsi tipe *meshing*, kualitas dan metode yang digunakan.

2. *Solving: Running Calculation*

Tahapan *solving* dilakukan pemilihan jenis perhitungan yang Akan digunakan. Jenis perhitungan dipilih berdasarkan jenis kasus objek yang diamati. Pemeriksaan model, yang sudah dalam kondisi 1 *part* atau 1 *body* (untuk permodelan dari 3D autocad). Setelah itu tahapan setting material, serta karakteristik termal

material tersebut. *Air* dan *solid* dari bidang harus disetting. Pada kasus objek interior pada umumnya menggunakan tipe perhitungan *viscosity* dengan $K-\epsilon$ epsilon model RNG karena bersifat lebih stabil (Muhsin et. al, 2017). Penentuan posisi dan tipe *inlet*, *outlet* sebagai *outflow* serta input nilai variabel kecepatan pada *inlet*. Penting untuk diingat jika residuals seperti pada lampiran disetting dengan 10^{-4} atau untuk hasil yang lebih baik 10^{-6} , semakin banyak residual maka runing yang bekerja mencapai hasil yang maksimal. Selanjutnya semua bidang diinitialization sebelum melakukan kalkulasi 5000 perlu dipilih nilai iterasi yaitu pengulangan perhitungan sehingga bisa didapatkan data convergent.

3. *Post Processing: Result*

Tahapan ini merupakan hasil dari kalkulasi. Nilai variabel yang dihasilkan dari kalkulasi adalah nilai kecepatan angin dan tekanan udara. Analisis pada hasil perhitungan dapat dilakukan dengan mode 2D ataupun 3D. ANSYS memiliki fitur yang dapat menghasilkan bentuk visualisasi seperti Gambar kontur (*contour*), *streamline*, arah angin (*vector*), grafik dan tabel.

3.7.3 Simulasi Termal

Simulasi Termal bertujuan mendapatkan data termal bangunan guna perhitungan pada kecepatan untuk penyejukan fisiologis. Data termal yang dibutuhkan berupa data temperatur, kelembapan relatif, temperatur radiasi dan temperatur bola kering (*dry bulb temperature*). Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software design builder*. *Design builder* memiliki kemampuan untuk melakukan kalkulasi konsumsi energi, kinerja termal hingga pencahayaan alami pada bangunan. *Design builder* memiliki fitur yang dapat melakukan analisis kinerja bangunan mulai dari termal, pencahayaan hingga energi. Analisis dapat dilakukan pada setiap zona hingga keseluruhan bangunan. Perhitungan kinerja energi dilakukan menggunakan *energy plus*. Selain itu *software* ini memiliki fitur yang juga dapat menampilkan visualisasi model dan tapak. Tahapan simulasi dimulai dengan modeling input data, kalkulasi dan unduh data *output*. Modeling dapat dilakukan pada *software design building*. Input data dilakukan dengan memasukkan template lokasi, data iklim, jenis material, okupasi dan aktivitas hingga jenis penghawaan yang digunakan. Data *output* berupa konsumsi energi bangunan,

perpindahan panas, data panas internal dan kenyamanan termal. Data yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa data kenyamanan termal yang terdiri dari discomfort hour, faktor iklim (temperatur udara, kelembapan relatif, MRT, temperatur operatif).

1. Parameter Kualitas Udara

Salah satu indikator yang menjadi parameter kinerja penghawaan alami adalah nilai pertukaran udara setiap jam- *Air changes per Hour* (ACH). Nilai ACH dipengaruhi oleh nilai kecepatan angin, debit aliran angin, bukaan dan volume ruang. Pada kondisi bukaan koridor memiliki posisi tegak lurus, sehingga diasumsikan arah kedatangan angin tegak lurus terhadap bukaan. Nilai ACH akan dibandingkan dengan nilai standar pertukaran udara yang ditetapkan oleh SNI 03-6572-2001-untuk-mengevaluasi tingkat keberhasilan penghawaan udara.

2. Parameter Penyejuk Fisiologis

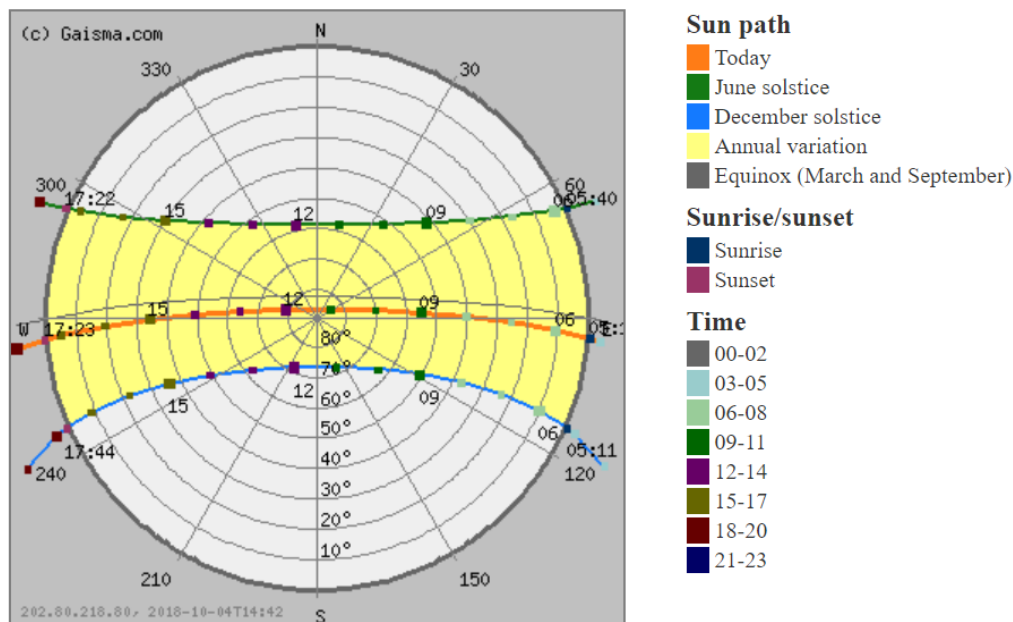
Indikator kenyamanan termal pada penghawaan alami adalah nilai kecepatan angin yang mampu memberikan penyejukan fisiologis. Penyejukan fisiologis terkait dengan kecepatan angin, temperatur dan kelembapan udara. Nilai kecepatan angin yang dibutuhkan untuk penyejukan fisiologis merupakan hasil analisis VC dari penelitian Samodra (2016) terkait hunian tradisional di daerah dataran rendah dan dataran tinggi.

3.8 Tahapan Analisis Penelitian

Pada sebuah penelitian perlu dilakukan tahapan analisis baik sebelum dan sesudah penelitian untuk mendapatkan kesimpulan dari akhir penelitian. Tahapan analisis dilakukan pada hasil pengumpulan data baik dari pengamatan lapangan dan penelitian simulasi. Palmer (1981) dalam Hayati (2006) menuturkan bahwa tujuan dari analisis adalah untuk menyederhanakan dan memisahkan data ke dalam jumlah (porosi) yang teratur, sehingga bisa didapatkan hubungan dan validasi antar variabel-variabel. Hubungan tersebut digunakan untuk menentukan keterkaitan antar variabel pada data serta kondisi secara keseluruhan. Dalam penelitian ini ada tiga bentuk analisis yang akan dilakukan, seperti : (1) evaluasi kinerja *solar chimney* terhadap ketinggian bangunan, (2) analisis kinerja material *solar chimney*, (3) menghasilkan strategi desain dari hasil analisis yang dilakukan. Analisa kinerja

penghawaan pada unit apartemen di Surabaya menggunakan data iklim dari BMKG Juanda Surabaya.

Analisis kinerja ventilasi pada unit apartemen di Surabaya menggunakan data iklim dari BMKG Juanda Surabaya dengan data 5 tahun terakhir. Gambar 3.4 menunjukkan posisi kota Surabaya yang berada tepat dibawah khatulistiwa. Jika dilihat *sun path* menjelaskan pada bulan Juni sampai Desember memungkinkan kota Surabaya menjadi panas, hal tersebut dikarenakan posisi matahari tepat di atas kota Surabaya. Data yang didapatkan nantinya akan digunakan sebagai bahan analisis hasil kinerja unit sebelum mengaplikasikan *solar chimney* pada unit apartemen.



Gambar 3.4 *Sun path* kota Surabaya

3.8.1 Kinerja unit yang menggunakan *solar chimney*

Perpindahan panas ke aliran udara di cerobong menunjukkan adanya *ekstraksi* panas melalui *solar chimney*. Dengan kata lain hal tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi kinerja *solar chimney* pada setiap kondisi yang akan diuji. Selain itu, perbedaan temperatur udara sepanjang *solar chimney* secara vertikal dari bawah ke atas menunjukkan potensi penghawaan udara. Semakin tinggi perbedaan temperatur pada cerobong maka akan semakin baik pula kinerja *solar chimney* tersebut. Seperti yang dilakukan Rattanongphisat (2017) untuk

menghitung perpindahan panas yang mengalir di cerobong, dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{\dot{m} c_f (T_{fo} - T_{fi})}{0,75 W L} \quad (3-1)$$

Untuk menghitung *airflow rate* dapat menggunakan rumus berikut:

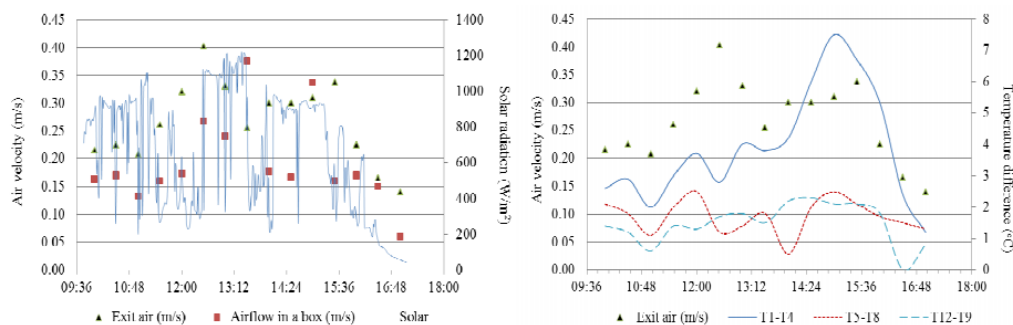
$$\dot{m} = \rho A v \quad (3-2)$$

Untuk menghitung potensi penghawaan dari *solar chimney* yang berhubungan dengan perbedaan temperatur dapat menggunakan rumus berikut:

$$\Delta T_s = T_{fo, top, avg} - T_{fi, bot, avg} \quad (3-3)$$

dimana:

q	= <i>heat gain</i> yang mengalir di <i>solar chimney</i>	(w/m ²)
$\dot{m}$	= <i>mass flow rate</i>	(kg/s)
c_f	= udara panas spesifik	(J/kg.K)
T_{fo}	= temperatur udara di <i>outlet</i>	(K)
T_{fi}	= temperatur udara di <i>inlet</i>	(K)
W	= lebar cerobong	(m)
L	= tinggi <i>stack</i>	(m)
ρ	= <i>density</i>	(kg/m ³)
A	= cross sectional area	(m ²)
v	= kecepatan angin	(m/s)
ΔT_s	= perbedaan temperatur	(K)
$T_{fo, top, avg}$	= rata-rata temperatur udara di <i>outlet</i> yang mengalir di bagian atas	(K)
$T_{fi, bot, avg}$	= rata-rata temperatur udara di <i>inlet</i> yang mengalir di bagian bawah	(K)



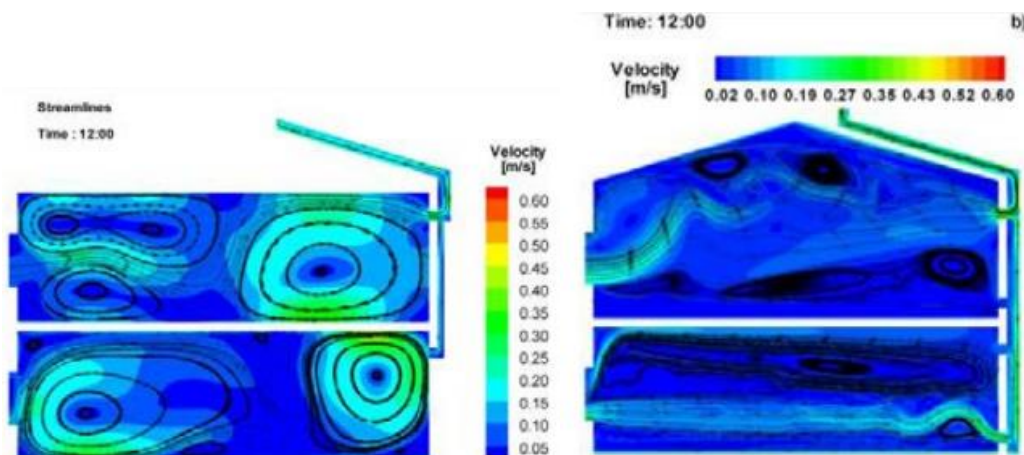
Gambar 3.5 Grafik kinerja *solar chimney* (sumber: Rattanongphisat, 2017)

Hasil perhitungan ini kemudian bisa disajikan dengan grafik yang membandingkan kecepatan udara & radiasi dan kecepatan udara & perbedaan

temperatur matahari selama 24 jam seperti yang dilakukan oleh Rattanongphisat (2017) pada Gambar 3.5. Hasil simulasi akan menunjukkan jenis material mana yang lebih efektif dalam memanaskan ujung *outlet solar chimney* agar dapat terjadinya perbedaan temperatur antara *inlet* dan *outlet*.

3.8.1 Pengaruh *Solar Chimney* terhadap Ketinggian Bangunan

Untuk mengetahui performa *solar chimney* dari bentuknya terhadap ketinggian bangunan dapat dilakukan dengan simulasi CFD yang juga dilakukan oleh Baxevanou (2017). Dari hasil simulasi akan diketahui *streamlines* tiap unit apartemen sesuai dengan ketinggian dan bentuk *solar chimney* yang disimulasikan. Sebagai contoh simulasi, dapat melihat gambar berikut yang dibagi menjadi potongan membujur dan melintang.

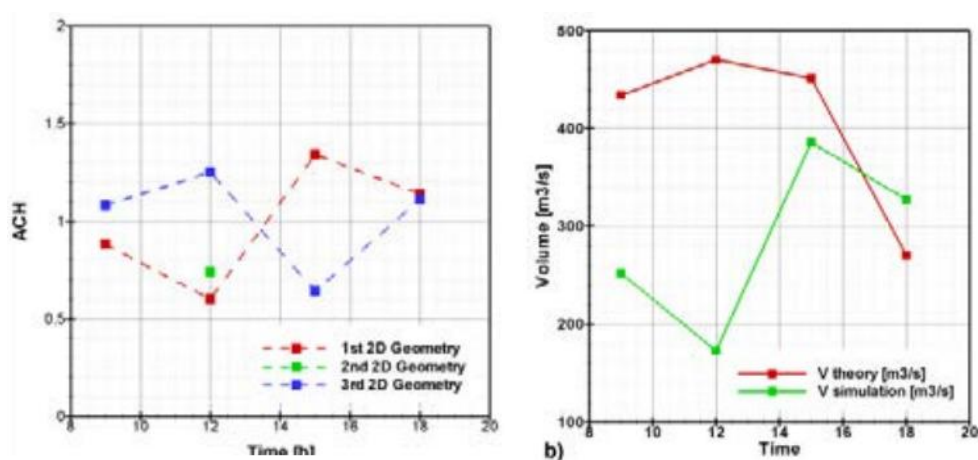


Gambar 3.6 Steamline dari hasil Simulasi (sumber: Baxevanou, 2017)

Dari hasil simulasi Gambar 3.6 dapat dilihat nilai-nilai yang mempengaruhi penghawaan bangunan seperti kecepatan angin yang terjadi dan *airflow rate* pada tiap bentuk *solar chimney* yang disimulasikan, sehingga bisa dibandingkan nilai ACH. Dari sini akan didapatkan bentuk *solar chimney* mana yang paling baik untuk dibandingkan dengan standar ACH yang disyaratkan. Perbandingan-perbandingan tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.7.

Lippsmeier (1997) menyatakan bahwa batas kenyamanan untuk kondisi khatulistiwa berkisar antara 19°C TE-26°C TE dengan pembagian berikut: temperatur 26°C TE : Umumnya penghuni sudah mulai berkeringat. temperatur

26°C TE–30°C TE: Daya tahan dan kemampuan kerja penghuni mulai menurun.
 temperatur 33,5°C TE–35,5 °C TE: Kondisi lingkungan mulai tidak nyaman.
 Temperatur 35°C TE–36°C TE: Kondisi lingkungan tidak memungkinkan lagi.
 Temperatur dalam ruangan yang sehat berdasarkan MENKES NO.261/MENKES/SK/II/1998 adalah temperatur ruangan yang berkisar antara 18°C-26°C. Selain itu, berdasarkan standar yang ditetapkan oleh SNI 03-6572-2001, ada tingkatan temperatur yang nyaman untuk orang Indonesia atas tiga bagian yang dapat dilihat pada tabel 3.14.



Gambar 3.7 Grafik perbandingan (sumber: Baxevanou, 2017)

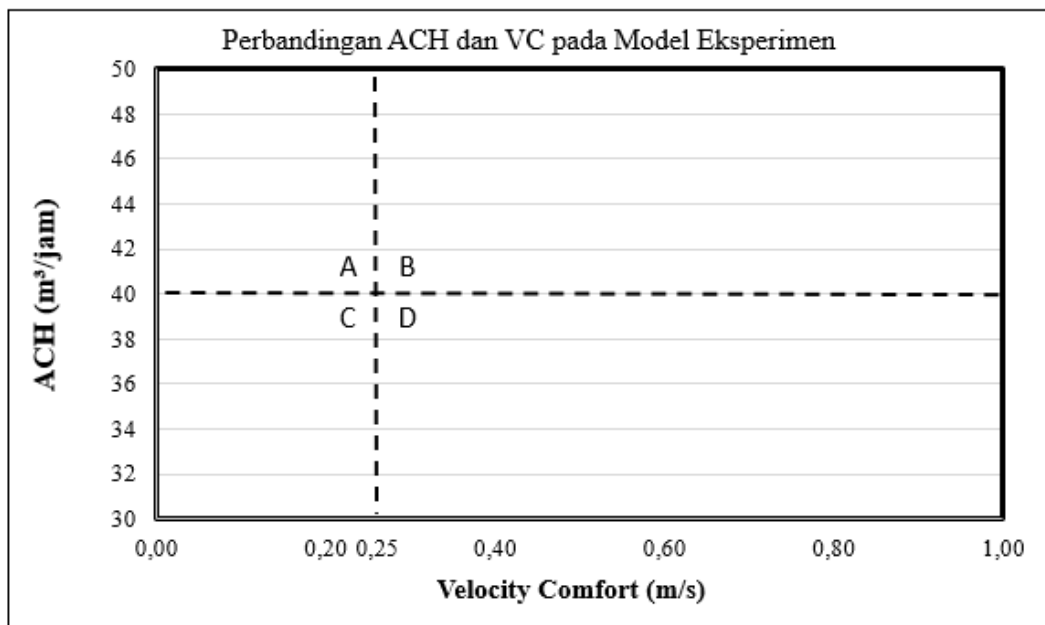
Tabel 3.14 Batas Kenyamanan Termal

Batas Kenyamanan Termal	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban / RH (%)
Sejuk Nyaman	20,5 °C TE – 22,8 °C TE	50 %
Ambang Atas	24°C TE	80 %
Nyaman Optimal	22,8 °C TE – 25,8 °C TE	70 %
Ambang Atas	28°C TE	
Hangat Nyaman	25,8 °C TE – 27,1 °C TE	60 %
Ambang Atas	31°C TE	

Sumber: SNI 03-6572-2001

Temperatur efektif tidak sama dengan temperatur tabung kering yang ditunjukkan oleh termometer. Temperatur efektif (TE) sudah menggabungkan faktor–faktor berupa temperatur udara, kelembaban udara relatif (RH), kecepatan udara (V) serta radiasi.

Standar kenyamanan termal untuk kecepatan udara yang digunakan ada tiga yaitu: Lippsmeir (1997) menyatakan bahwa patokan untuk kecepatan angin ialah: 0.25 m/s ialah nyaman, tanpa dirasakan adanya gerakan udara; 0.25m/s – 0.50 m/s ialah nyaman, gerakan udara terasa; 1.00 m/s – 1.50 m/s aliran udara ringan sampai tidak menyenangkan; Di atas 1.5 m/s tidak menyenangkan. Lechner (2001) menyatakan jangkauan yang nyaman untuk kecepatan angin berkisar antara 20 hingga 60 kaki/menit (fpm) kurang lebih 0.6 mph – 2 mph. Pada penelitian ini menggunakan standar Lippsmeir (1997) yaitu 0.25 m/s dengan standar minimum ACH 0,3 menurut (Awbi, 1995; Satwiko, 2008).



Gambar 3.8 Rancangan Analisis Kuadran

Klasifikasi penilaian pada masing-masing kotak dijelaskan sebagai berikut;

- a. Kuadran A; nilai kecepatan untuk penyejukan fisiologis tidak terpenuhi, namun memenuhi nilai standar ACH Q-debit udara segar yang dibutuhkan.
- b. Kuadran B; nilai ACH Q-debit udara segar dan kecepatan untuk penyejukan fisiologis terpenuhi. Kondisi ini merupakan kondisi optimal.
- c. Kuadran C; tidak dapat memenuhi nilai ACH Q-debit udara segar dan kecepatan angin untuk penyejukan fisiologis.
- d. Kuadran D; nilai kecepatan untuk penyejukan fisiologis terpenuhi, namun tidak pada ACH nilai Q-debit udara segar.

BAB 4

PENGUKURAN LAPANGAN DAN VERIFIKASI

Bab ini akan membahas hasil pengukuran dan pengamatan lapangan terkait iklim mikro terhadap iklim makro. Pengamatan lapangan dilakukan untuk melihat kondisi termal dan ventilasi pada bangunan. Hasil Pengukuran digunakan untuk memverifikasikan hasil simulasi.

4.1 Analisis Data Iklim Surabaya

Analisis data iklim makro digunakan untuk mengetahui kondisi aliran udara yang terjadi di daerah terdekat dengan objek penelitian. Data yang diperlukan adalah data iklim pertahun, hal ini dilakukan untuk melihat temperatur udara, kecepatan angin, dan kelembapan yang meningkat ataupun menurun dalam priode satu tahun. Lokasi penelitian yang dipilih adalah kota Surabaya yang merupakan kota terbesar kedua di Indonesia setelah Jakarta. Menurut Badan Pusat Statistik kota Surabaya. Surabaya terletak pada $7^{\circ}21'S$ – $7^{\circ}21'S$ dan $112^{\circ}36'E$ – $112^{\circ}54'E$. Wilayahnya merupakan dataran rendah dengan ketinggian antara 3-6 m diatas permukaan air laut, kecuali daerah selatan dengan ketinggian 25-50 m diatas permukaan air laut. Pada Tabel 4.1, temperatur udara bulan Januari sebesar $28,2^{\circ}C$, mengalami peningkatan pada bulan Mei mencapai $29,4^{\circ}C$, selanjutnya menurun pada bulan Juli $28,4^{\circ}C$, dan mengalami peningkatan pada bulan September menjadi $29,0^{\circ}C$. Grafik menunjukkan temperatur terpanas berada pada bulan Oktober, diikuti November, September dan pada bulai Mei. Namun kondisi kenyamanan tidak hanya melihat dari hasil temperatur, melainkan juga dari kelembapan. Pada 4 bulan dengan temperatur terpanas cenderung memiliki kelembapan yang rendah pula, dimana kelembapan terendah terjadi pada bulan September dan Oktober.

Hasil kecepatan angin rata-rata sepanjang lima tahun terakhir, kecepatan angin memiliki ritme yang hampir sama, kecuali pada tahun 2016 dimana terjadi penurunan kecepatan angin sepanjang bulan Juni hingga Desember dengan rata-rata dibawah 2 m/s. Kecepatan angin terendah berada sepanjang bulan Maret sampai juni dimana kecepatan angin 2,7 m/s, serta mengalami peningkatan pada bulan Juli

hingga Oktober dimana rata-rata kecepatan angin antara 3.2 m/s sampai 3.9 m/s pada bulan September.

Penggunaan *ansys fluent* dalam proses simulasi mengharuskan penggunanya untuk memasukan data lingkungannya sendiri, seperti halnya kecepatan angin. Sumber data yang digunakan adalah data iklim bulanan pada tahun 2014 yang berasal dari Stasiun Meteorologi Perak I Surabaya. Data iklim dapat digunakan untuk menentukan seberapa besar kecepatan angin yang dibutuhkan untuk menghasilkan kondisi nyaman dalam bangunan, serta perlu disesuaikan dengan kondisi lingkungan yang akan disimulasikan.

Tabel 4.1 Data Iklim Rata-rata 5 Tahun Wilayah Surabaya

BULAN	Temperatur Udara (°C)			Kelembaban Udara (%)			Arah dan Kecepatan Angin (m/s)			
	Rata2	Max	Min	Rata2	Max	Min	Arah Terbanyak	Kec. Rata2	Arah	Kec. Max
Januari	27.4	34.4	23.6	81	97	54	B	3.09	310	12.86
Pebruari	27.5	34.3	23.0	83	97	54	B	3.60	310	15.95
Maret	28.6	34.6	23.0	79	100	49	B	3.09	150	15.43
April	28.8	35.8	24.1	79	97	46	BL	3.09	040	15.95
Mei	29.6	35.3	23.8	75	97	41	T	3.60	160	11.32
Juni	29.3	35.1	23.8	74	97	45	T	3.09	060	10.80
Juli	28.6	34.0	22.0	70	93	43	T	3.09	080	10.80
Agustus	28.4	34.2	21.8	67	90	37	T	4.12	060	13.89
September	28.7	35.3	21.8	62	88	52	T	4.12	060	12.86
Oktober	30.1	37.3	22.9	61	91	48	T	4.63	050	12.86
Nopember	30.0	37.6	24.8	69	93	26	T	3.09	050	12.86
Desember	28.1	35.4	23.8	80	100	53	B	3.09	180	12.86
Min	27.4	34.0	21.8	61	88	26		3.09		10.80
Max	30.1	37.6	24.8	83	100	54		4.63		15.95
Rata2	28.8	35.3	23.2	73	95	46		3.60		13.38

Sumber: BMKG Perak I Surabaya

Tabel 4.1 menampilkan gambaran kondisi iklim di kota Surabaya secara umum. Dari data diatas dapat diketahui bahwa temperatur udara rata-rata sekitar 28.8°C dengan temperatur maksimum sekitar 35.3°C dan kelembaban 73%. Dari data iklim pada Tabel 4.1 diketahui bahwa kecepatan angin rata-rata sekitar 3.6 m/s dengan asumsi bahwa data tersebut diambil pada ketinggian 10 m.

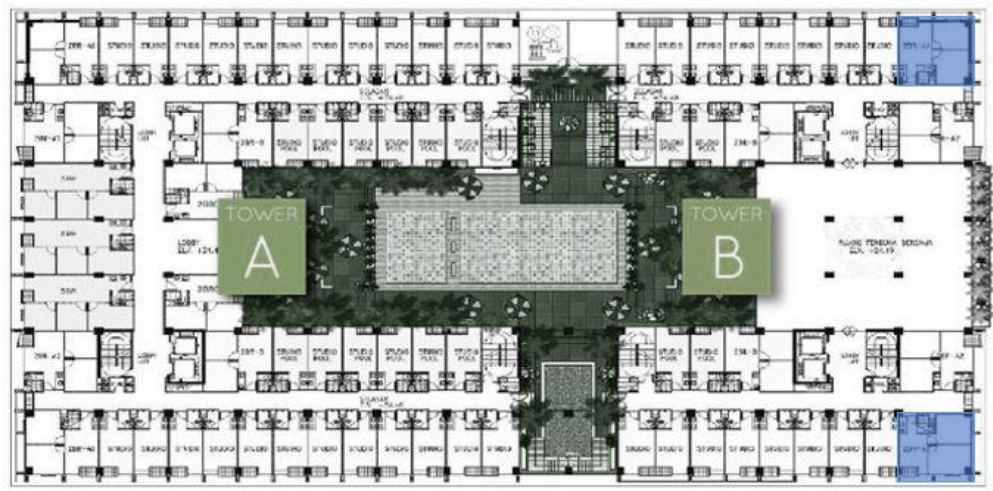
4.2 Objek Penelitian

Lingkungan sekitar apartemen adalah lingkungan perumahan dengan ketinggian antara 5 – 12m, lingkungan pendidikan STIKES – SMKES Surabaya, sungai jagir, serta terdapat apartemen Gunawangsa Merr dengan ketinggian 30 lantai. Apartemen ini menghadap langsung ke arah jalan Jl. Dr Ir. H. Soekarno atau yang biasa disebut jalan MERR, dengan lebar jalan 16m seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Peta Eksisting

Objek penelitian memiliki 30 lantai yang terbagi menjadi 5 lantai podium dan 25 lantai unit apartemen. Menurut Akmal (2007), apartemen yang menjadi objek penelitian masuk dalam kategori apartemen *high-rise*. Apartemen yang menjadi objek penelitian termasuk dalam kategori apartemen menengah, dengan bentuk persegi panjang menyerupai huruf U pada Gambar 4.4. Tipe apartemen 2 BR masuk dalam kategori apartemen keluarga Akmal (2007). Tipe ini memiliki kamar tidur terpisah serta ruang duduk, ruang makan, dapur yang terbuka dalam satu ruang. Koridor apartemen terletak pada kedua sisi bangunan menjadi jalur sirkulasi antar unit. Desain ini sangat efisien dalam pemamfaatan lahan dan konstruksi bangunan, namun menjadi tidak efektif dalam perencanaan penghawaan pasif karena sistem penghawaan satu sisi.



Gambar 4.4 Denah Bale Hinggil (balehinggil.co.id)

4.2.1 Konstruksi Bangunan

Bangunan yang menjadi objek penelitian adalah apartemen *high-rise*, bangunan yang terdiri dari 30 lantai, dilengkapi dengan 5 podium dan 25 lantai unit apartemen. Gambar 4.5a menunjukkan tampak depan apartemen dengan material utama beton yang dicat. Sedangkan pada Gambar 4.5b menunjukkan bentuk jendela dan balkon tipe *logia*.



(a)



(b)

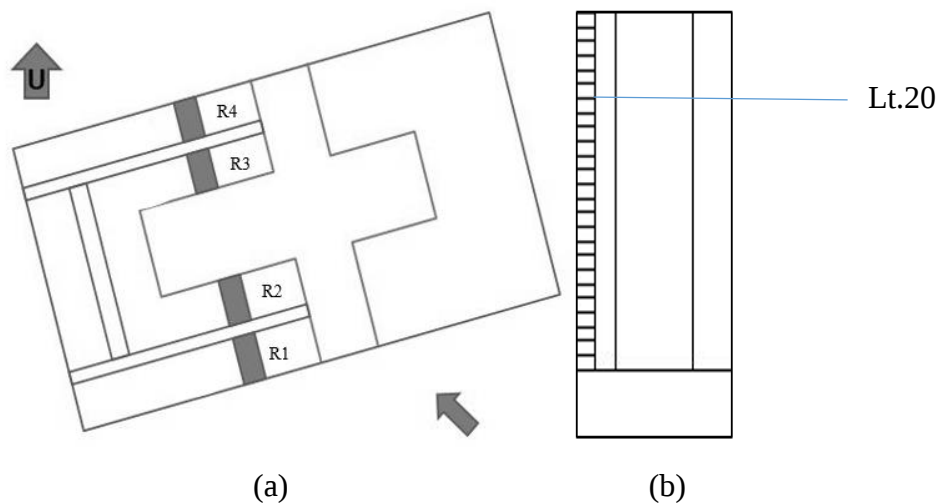
Gambar 4.5 Eksisting Bangunan; (a) Tampak Depan, (b) Balkon

4.3 Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen pada bab ini adalah pengukuran lapangan dan simulasi. Untuk melihat hubungan antar variabel dan deviasai yang terjadi pada pengukuran lapangan dan simulasi.

4.3.1 Pengukuran Lapangan

Tipe aliran angin pada objek penelitian adalah aliran angin pada kawasan perkotaan yang masuk dalam kategori pusat kota. Mooneghi (2016) aliran angin yang melewati gedung tinggi didominasi oleh dinamika beban angin yang dihasilkan. Bentuk denah bangunan juga mempengaruhi aliran angin pada objek yang ditempuh, seperti penelitian yang dilakukan oleh Mooneghi (2016) hasil dari penelitian kecepatan persebaran angin terus mengalami peningkatan pada saat angin terpapar bidang bangunan. Bentuk bangunan persegi seperti Gambar objek pada Gambar 4.7a arah angin datang dari model R1. Tekanan angin pada bangunan sangat bervariasi, semakin tinggi bangunan maka beban tekanan angin pun semakin tinggi dari tingkat yang lebih rendah, Omrani (2017). Hal tersebut yang menjadi dasar pemilihan lantai 20 sebagai perwakilan pengukuran lapangan.

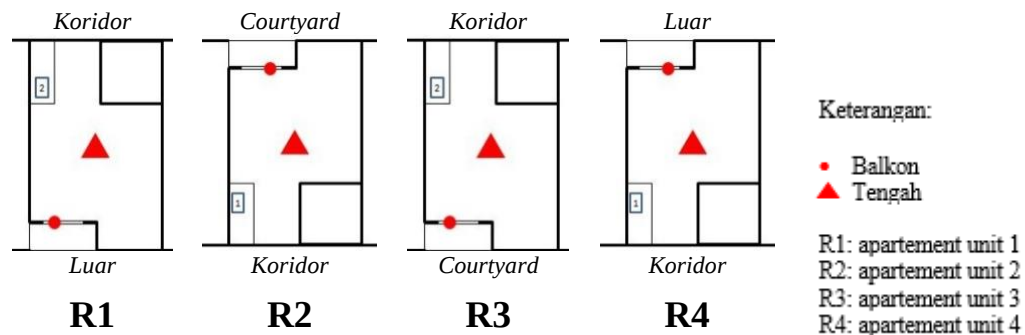


Gambar 4.7 Denah Pengukuran

Pengukuran lapangan dilakukan pada empat unit, seperti pada Gambar 4.7a, posisi pengukuran berada di lantai 20 yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Terkait dengan hal tersebut, pengukuran dilakukan pada 4 ruangan yang berada di lantai 20, adapun ruangan tersebut dibedakan menjadi R1, R2, R3, dan R4. Setiap ruangan ini kemudian dilakukan pengukuran kecepatan angin yang berasal dari sisi tenggara bangunan dan bergerak ke arah barat daya. Pengukuran dilakukan dengan kondisi balkon dan pintu terbuka untuk mendapatkan data kecepatan angin yang melewati ruang – ruang tersebut.

4.2.3 Penentuan Titik Ukur Kecepatan Angin

Titik ukur berada pada balkon yang mewakili kondisi *outdoor*, dan pada tengah unit yang mewakili kecepatan angin *indoor*. Pengukuran dilakukan pada 4 unit apartemen untuk melihat kecepatan angin pada setiap unit dalam 1 tower apartemen. Pengukuran ini dilakukan pengukuran dengan posisi balkon yang berbeda dimana unit R1 dan R3 yang memiliki balkon diarah tengara dan unit R2 serta R3 yang memiliki balkon diarah barat daya. Pengukuran dilakukan guna melihat perbedaan kecepatan arah angin yang masuk dalam setiap unit. Ketinggian alat ukur 1,5 m diatas permukaan lantai unit. Hal ini mewakili rata-rata dari ketinggian *floor to floor* unit yaitu 3m.



Gambar 4.8 Titik Ukur

4.3.1 Alat Ukur

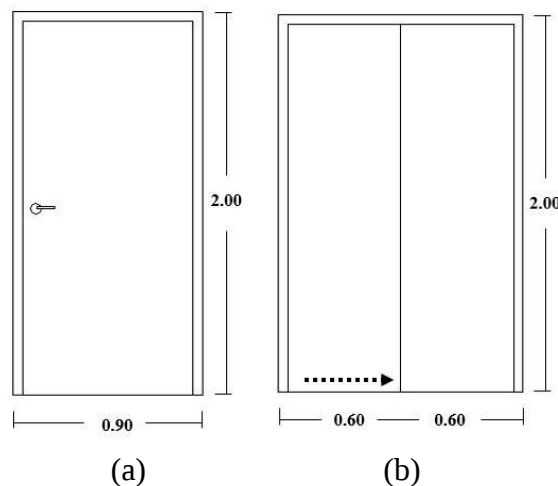
Pengukuran kecepatan angin menggunakan alat WGBT-2010SD seperti pada Gambar 4.9a. Alat tersebut dapat merekam kecepatan angin selama 24 jam dengan interval waktu 10 menit. Kelebihan alat ukur WGBT, dapat digunakan di dalam dan luar bangunan. Selain pengukuran kecepatan angin, kelebihan dari WGBT dapat melakukan pengukuran temperatur, dan kelembapan. Posisi perletakan alat ukur ditunjukkan dalam Gambar 4.9b dengan ketinggian 1,5 m dari permukaan lantai.



Gambar 4.9(a) WGBT-2010SD; (b) Ketinggian Alat Ukur

4.3.4 Spesifikasi Bukaannya

Bukaan pada unit apartemen terbagi atas dua; Gambar 4.10a bukaan jendela yang mengalirkan angin *outdoor* masuk kedalam unit, dan Gambar 4.10b bukaan pintu yang mengalirkan angin dari koridor kedalam unit atau sebaliknya mengeluarkan angin *indoor* keluar dari dalam unit. Adapun spesifikasi bukaan pada setiap unit yang mengambil bentuk pintu serta jendela geser dengan ketinggian pintu adalah 2 m dengan lebar pintu 0.90 m. Adapun spesifikasi bukaan berbentuk jendela geser yakni memiliki ketinggian 2 m dan lebar total jendela adalah 1.20 m dengan lebar tiap daun jendela adalah 0.60 m. Bukaan ini merupakan salah satu faktor utama yang diperlukan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang tepat kecepatan angin di dalam setiap ruang yang dijadikan sampel pengukuran.



Gambar 4.10 Spesifikasi Bukaan; (a) Pintu, (b) Jendela

4.3.5 Waktu Pengukuran

Pengambilan data lapangan dilakukan selama 6 hari seperti pada lampiran 3. Pengukuran kecepatan angin dilakukan selama 24 jam dengan interval 10 menit, menggunakan alat pengukuran WGBT-2010SD. Sampling jam pengukuran lapangan dari jam 11.00 sampai pada jam 15.00 seperti pada Tabel 4.2 dimana pada saat jam tersebut radiasi matahari mencapai titik tertinggi.

Tabel 4.2 Jam Pengukuran Lapangan

Lantai	Jam pengambilan data
20	11.00
	12.00
	13.00
	14.00
	15.00

Input kecepatan angin pada 5 jam tersebut berdasarkan data NOAA kota Surabaya tahun 2017 untuk kawasan suburban. Tabel 4.3 data NOAA kota Surabaya memperlihatkan arah angin dan kecepatan angin sepanjang hari. Adapun dari Tabel NOAA memperlihatkan bahwa kecepatan angin tertinggi berada pada pukul 09.00 dengan kekuatan angin yang menimpa bangunan adalah 15 knot dengan kecepatan 7.72 m/s. Sedangkan yang terendah berada pada pukul 22.00 dengan kekuatan angin sebesar 2 knot dan kecepatan sebesar 1.03 m/s saja. Berdasarkan data NOAA tersebut, pengukuran dilakukan selama 5 jam dari pukul 11.00 hingga 15.00. Pengambilan waktu pengukuran ini terkait dengan ketinggian matahari pada titik tertinggi, hal ini dapat mempengaruhi kecepatan arah angin dan berguna pada optimalisasi pengukuran yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Tabel 4.3 NOAA Kota Surabaya Tahun 2017

Waktu	Arah	Kecepatan Angin			
		Knot	(m/s)	Freestream (m/s)	(m/s)
00.00	990	5	2.57	4.28	2.77
01.00	150	8	4.12	6.85	4.43
02.00	990	8	4.12	6.85	4.43

Waktu	Arah	Kecepatan Angin			
		Knot	(m/s)	Freestream (m/s)	(m/s)
03.00	990	9	4.63	7.71	4.99
04.00	990	8	4.12	6.85	4.43
05.00	990	9	4.63	7.71	4.99
06.00	110	11	5.66	9.43	6.10
07.00	100	13	6.69	11.14	7.20
08.00	100	13	6.69	11.14	7.20
09.00	60	15	7.72	12.85	8.31
10.00	990	5	2.57	4.28	2.77
11.00	990	7	3.60	6.00	4.29
12.00	110	9	4.63	7.71	5.52
13.00	120	8	4.12	6.85	4.91
14.00	990	7	3.60	6.00	4.29
15.00	100	9	4.63	7.71	5.52
16.00	120	6	3.09	5.14	3.33
17.00	150	5	2.57	4.28	2.77
21.00	220	3	1.54	2.57	1.66
22.00	270	2	1.03	1.71	1.11
23.00	990	3	1.54	2.57	1.66

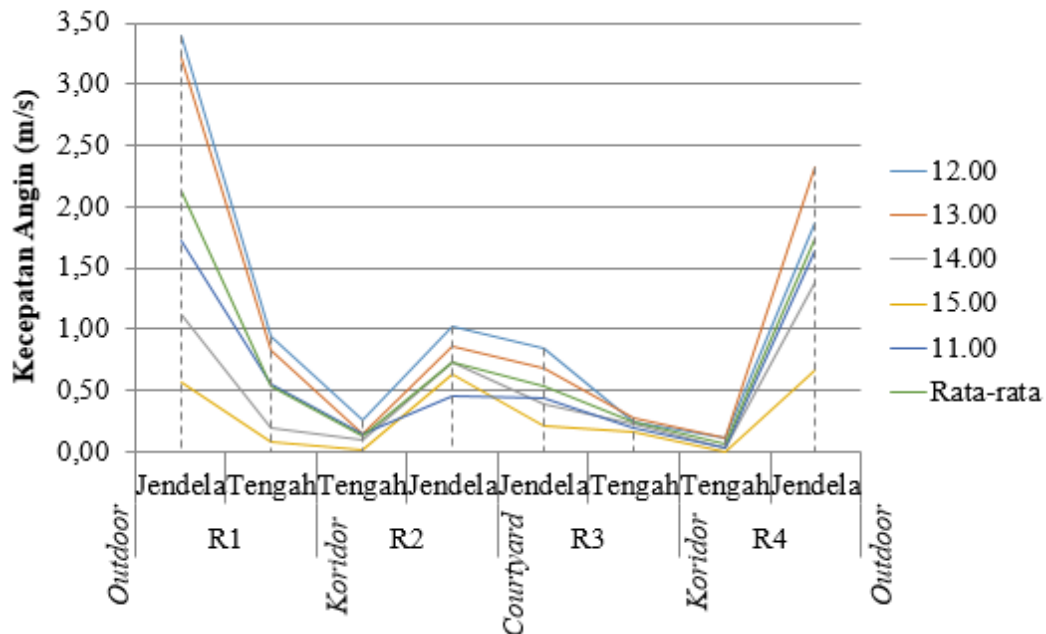
4.4 Hasil Pengukuran Lapangan dan Simulasi

Hasil dari analisis pengukuran lapangan selanjutnya akan digunakan sebagai validasi pada tahap eksperimen. Data bangunan pada pengukuran lapangan dijadikan sebagai acuan untuk menentukan model. Model *base case* nantinya akan disimulasi dengan data iklim menggunakan *software fluent* ANSYS untuk mengetahui kinerja penghawaan pada saat di simulasi.

4.4.1 Hasil Kecepatan Angin Pengukuran Lapangan

Dalam sub bab ini membahas hasil pengukuran kecepatan angin pada 4 unit penelitian R1, R2, R3, dan R4. Mekanisme penghawaan alami yang terjadi pada bangunan adalah penghawaan silang. Aliran angin berasal dari luar bangunan yang ditunjukkan dalam Gambar 4.11. Kecepatan angin yang melewati keempat ruangan pada jam 11.00 hingga 15.00, masuk ke dalam unit melalui jendela dan keluar melewati pintu menuju koridor.

Grafik Kecepatan Angin Pengukuran Lapangan



Gambar 4.11 Grafik Hasil Pengukuran Lapangan

Masing-masing ruangan memiliki dua titik ukur pada jendela dan tengah ruangan. Pengukuran dilakukan pada setiap selang waktu satu jam. Pada hasil pengukuran, kecepatan angin tertinggi berada pukul 12.00, sedangkan kecepatan angin terendah berada pukul 15.00. Jika dibandingkan dengan Tabel 4.3, kecepatan angin diluar bangunan pada jam 12.00 lebih tinggi dibandingkan pada lima jam pengukuran lainnya. Hal itu menunjukkan bahwa hasil pengukuran sama dengan hasil kecepatan angin NOAA. Selanjutnya pada jam 15.00 adalah kecepatan angin terendah jika dibandingkan dengan jam pengukuran lainnya. Pada Tabel 4.3 menunjukkan hasil kecepatan angin pada jam 15.00 sama dengan hasil kecepatan angin pada jam 12.00 dengan arah 100, namun kecepatan angin pengukuran tidak menunjukkan hasil yang sama.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.11, diidentifikasi bahwa hasil pengukuran menunjukkan kecepatan angin tertinggi berada pada jendela R1. Hal tersebut terjadi karena posisi titik pengukuran jendela R1 adalah area awal yang terpapar angin luar. Selanjutnya kecepatan angin pada jendela R4 memiliki pola yang sama pada setiap jamnya. Namun kondisi tersebut lebih rendah jika

dibandingkan dengan kecepatan angin pada jendela R1. Diidentifikasi kecepatan angin pada jendela R2 dan R3 yang dipengaruhi oleh angin *courtyard* memiliki nilai yang tinggi. Kecepatan angin terendah dalam pengukuran berada pada titik tengah. Hasil pengukuran pada titik tengah R1, kecepatan angin lebih tinggi bila dibandingkan pada titik tengah ruang lain. Sedangkan kecepatan angin terendah terjadi pada titik ukur R4, diidentifikasi bahwa hampir tidak terdapat aliran angin pada ruang tersebut.

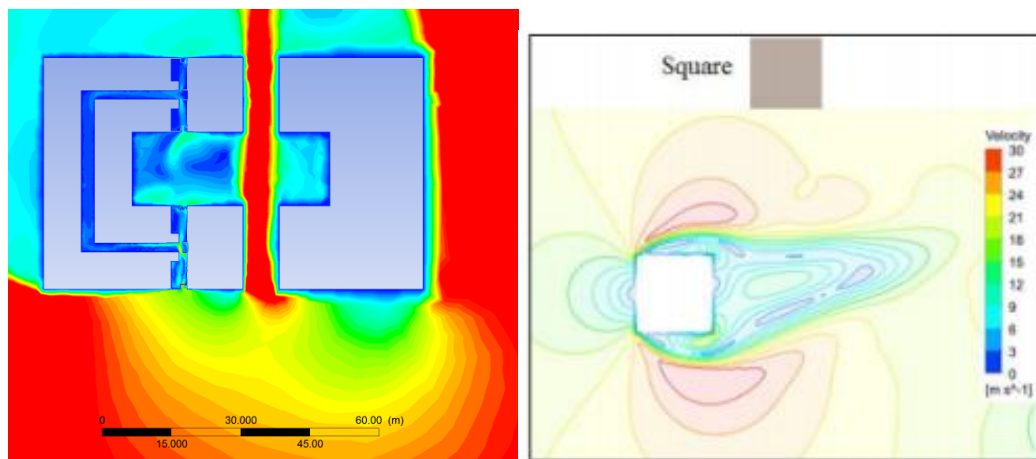
Kecepatan angin rata-rata jendela R1 adalah 2.12 m/s kemudian mengalami penurunan kecepatan angin pada titik tengah R1 dengan hasil 0.54 m/s. Pada saat memasuki titik tengah R2, kecepatan angin turun dengan rata-rata 0.14 m/s. Kondisi tersebut mengalami peningkatan kecepatan angin pada titik jendela model R2 yang mengarah kedalam *courtyard* dengan rata-rata 0.74 m/s. Model R3 adalah kecepatan angin yang masuk dari *courtyard*, pada titik pengukuran jendela memiliki kecepatan angin dengan rata-rata 0.53 m/s, aliran angin tersebut dari kecepatan angin pada jendela model R2 sebanyak 0.21 m/s. Titik tengah R3 terjadi penurunan kembali dengan rata-rata kecepatan angin 0.24 m/s, aliran angin yang sama masuk melewati *inlet* menuju R4. Pada titik tengah model R4 penurunan kecepatan angin dengan rata-rata 0.07 m/s, yang kemudian mengalami peningkatan pada titik ukur di jendela (*indoor*) model R4 dengan rata-rata 1.74 m/s.

Dari hasil pengukuran lapangan dapat disimpulkan pada titik ukur di jendela model R1 dan R4 adalah unit dengan kecepatan angin terbesar. Hal ini dipengaruhi oleh posisi model yang mendapat aliran angin langsung dari luar bangunan. Nilai kecepatan angin pada kedua jendela tersebut 1.74 – 2.12 m/s, Szokolay (1987) menyatakan nilai kecepatan angin pada jendela R1 dan R4 masuk dalam kategori berangin yang mengganggu. Pada titik ukur jendela di R2 dan R3 aliran angin yang masuk dipengaruhi oleh angin yang berada di *courtyard* bangunan, sehingga pada model tersebut kecepatan angin relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan titik pengukuran tengah. Hasil rata-rata kecepatan angin tersebut adalah 0.53 – 0.74 m/s dimana menurut Ansley (1977) nilai kecepatan angin tersebut masuk dalam kategori hembusan angin yang disadari. Model R4 pada titik ukur tengah adalah kecepatan angin terendah yaitu 0.07 m/s, hal tersebut dikarenakan posisi unit yang jauh dari sumber angin *outdoor* yang mengakibatkan

nilai kecepatan angin menjadi tidak terasa jika diidentifikasi dengan skala sensasi yang dirasakan manusia menurut Baeufort.

4.4.2 Hasil Kecepatan Angin Simulasi

Gambar 4.12 membandingkan hasil simulasi dengan penelitian Mooneghi dkk (2016). Kedua model memiliki kesamaan bentuk bangunan, yang mengakibatkan identifikasi aliran angin pun sama. Bentuk bangunan pada penelitian adalah persegi panjang, sedangkan pada Gambar 4.12b bentuk bangunan persegi empat. Hasil simulasi aliran angin yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12b menurut Mooneghi (2016), termasuk dalam kategori lurus mengikuti arah angin (*drag force*), setelah mengenai bangunan terbelah menjadi dua bagian yang mengarah ke kiri dan kanan bangunan (*lift force*).

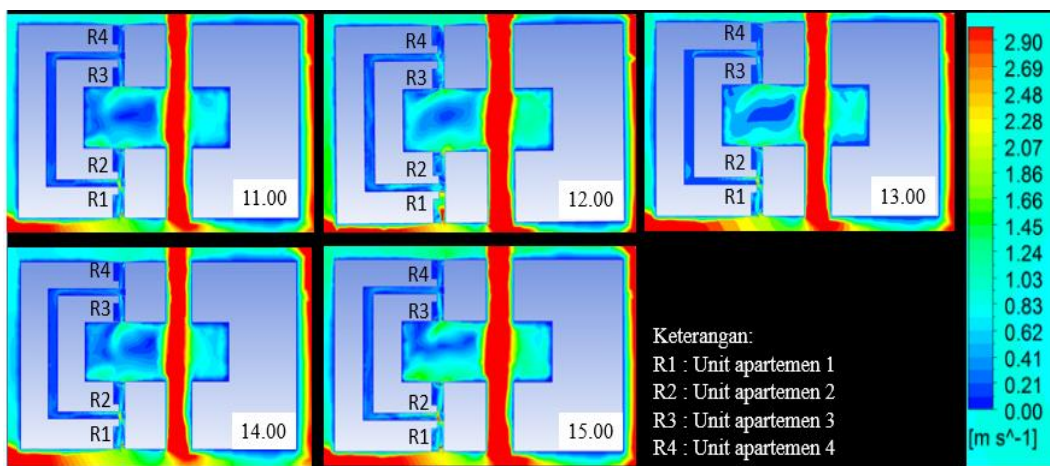


Gambar 4.12 (a) Hasil Simulasi (b) Contoh Simulasi Aliran Angin (Mooneghi dkk,2016)

Pada aliran ini kecepatan angin *Shear layers* mengalami variasi dari nol di dekat permukaan objek yang dilalui, hingga mendekati kecepatan aliran *freestream* di batas paling luarnya. Selain itu aliran ini juga dapat menjadi pemisah antara *freestream flow* dengan *wake flow*.

Hasil simulasi kecepatan angin pada 4 unit apartemen pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.13. Gambar 4.13 menjelaskan secara visual posisi obyek penelitian pada lantai 20 yang diukur pada setiap jamnya dengan hasil pada Gambar 4.14. Grafik menunjukkan bahwa pada kelima waktu pengukuran terjadi peningkatan dan penurunan kecepatan angin. Hasil menunjukkan bahwa pada

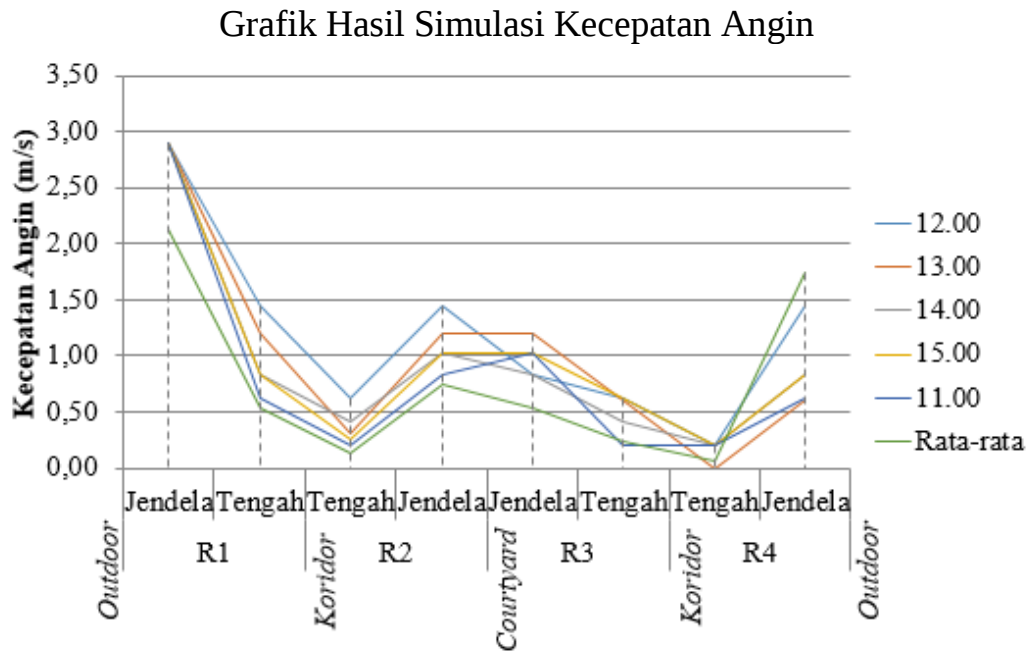
setiap jam pengukuran R1 titik ukur jendela memiliki kecepatan angin yang relatif sama dengan rata-rata 2.90 m/s, selajutnya mengalami penurunan kecepatan menjadi 0.99 m/s pada titik tengah R1. Pada R2, titik ukur tengah mengalami penurunan kecepatan angin dengan rata-rata 0.36 m/s, namun mengalami peningkatan pada titik ukur jendela mencapai 1.19 m/s. Titik pengukuran R3 mendapat aliran angin *outdoor* dari *courtyard* bangunan. Oleh sebab itu, kecepatan angin pada titik ukur jendela mengalami peningkatan 0.98 m/s dibandingkan dengan nilai rata-rata kecepatan angin pada titik ukur tengah 0.49 m/s. Namun kecepatan angin tersebut masih lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan angin pada titik ukur jendela R2. Pada hasil simulasi, kecepatan angin R4 titik ukur tengah adalah unit dengan kecepatan angin terendah dengan rata-rata 0.17 m/s yang mengalami peningkatan pada titik ukur jendela sebesar 0.87 m/s. Hal tersebut disebabkan oleh posisi jendela R4 mendapatkan kecepatan angin langsung dari luar bangunan.



Gambar 4.13 Hasil Simulasi Kecepatan Angin Untuk Validasi

Hasil simulasi mengidentifikasi bahwa kecepatan angin terbesar berada pada model R1 dan R2 titik ukur jendela. Kecepatan angin titik ukur jendela R1 lebih tinggi dikarenakan posisinya yang berada dekat dengan *outdoor* dan mendapatkan aliran angin langsung dari luar bangunan. Sedangkan pada model R2, aliran angin didapatkan langsung dari *courtyard* bangunan. Titik ukur jendela R1 dan R2 memiliki kecepatan angin dengan rata-rata 1.19 – 2.90 m/s. Menurut Szkolay (1987), nilai kecepatan angin pada titik ukur jendela model R1 dan R2

masuk kedalam kategori berangin yang mengganggu. Kecepatan angin terendah dari hasil simulasi berada pada titik ukur tengah model R4 dengan rata-rata kecepatan angin 0.17 m/s. Hal ini dikarenakan posisi bangunan tidak mendapat aliran angin langsung dari luar bangunan. Kecepatan angin tersebut termasuk dalam kategori kecepatan angin yang tidak terasa (Ansley, 1977).



Gambar 4.14 Grafik Hasil Simulasi Kecepatan Angin

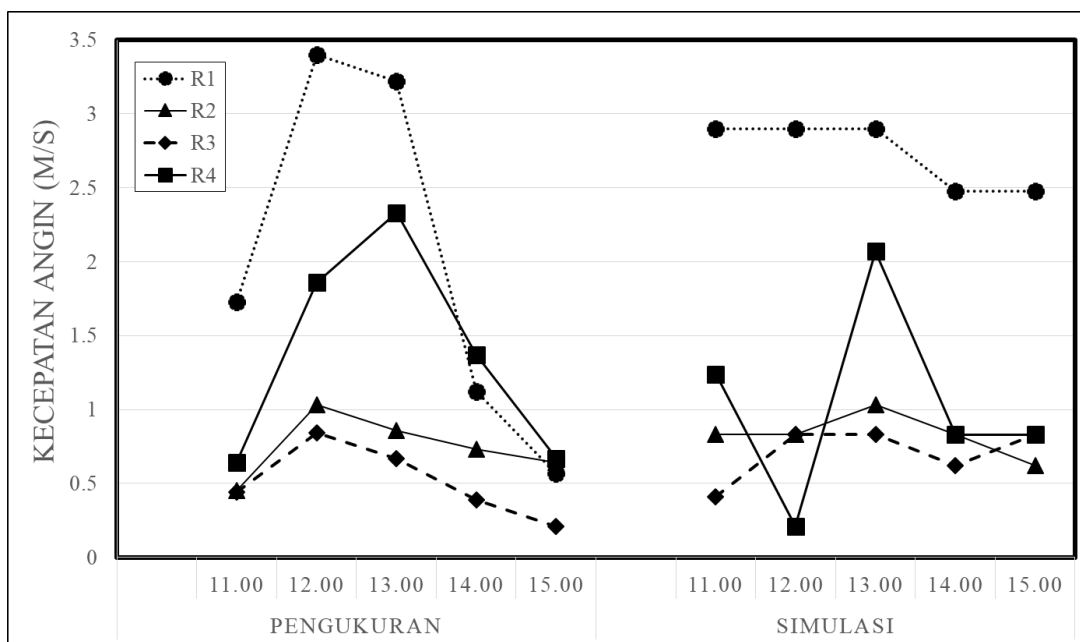
4.4.3 Perbandingan Hasil Pengukuran dan Simulasi

Ada dua titik ukur pada penelitian ini yang mewakili kecepatan angin *outdoor* dan *indoor*. Kecepatan angin *outdoor* diwakili oleh titik ukur pada jendela karena posisi titik ukur mendapat aliran angin langsung dari luar bangunan, sedangkan titik ukur tengah mewakili kecepatan angin *indoor* dimana kecepatan angin yang dihasilkan dari aliran angin pada titik ukur jendela, yang tidak mendapatkan aliran angin langsung sehingga pada titik tersebut kecepatan angin relatif kecil.

1. Pada Titik Ukur Jendela (*Outdoor*)

Gambar 4.15, menunjukkan perbandingan hasil pengukuran dan simulasi pada titik ukur jendela. Dapat diidentifikasi bahwa pada model R1, pada jam 11.00 kecepatan angin diatas 1,50 m/s mengalami peningkatan menjadi 3.00 m/s pada jam

12.00 dan 13.00 selanjutnya mengalami penurunan yang signifikan pada jam 14.00 hingga mencapai 1.00 m/s dan terus mengalami penurunan hingga mencapai 0.50 m/s pada jam 15.00. Bila dibandingkan dengan hasil simulasi, kecepatan angin model simulasi R1 lebih konstan pada setiap jamnya. Seperti yang ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4.15, kecepatan angin pada titik jendela R1 berkisar antara 2.50 – 3.00 m/s. Grafik fluktuatif selanjutnya ditunjukkan pada model R4, dimana terjadi perbedaan yang signifikan antara hasil simulasi dan pengukuran lapangan. Hasil pengukuran mengidentifikasi bahwa pada jam 11.00, kecepatan angin sebesar 0.50 m/s terus mengalami peningkatan pada jam 12.00 dan 13.00 menjadi sekitar 1.80 – 2.50 m/s selanjutnya mengalami penurunan pada jam 14.00 hingga 1.50 m/s. Hasil simulasi pada model R1 menunjukkan bahwa kecepatan angin pada jam 11.00 adalah 1.30 m/s dan mengalami penurunan pada jam 12.00 menjadi 0.50 m/s, kemudian percepatan udara yang meningkat pada jam 13.00 mencapai 2.00 m/s. Hasil perbandingan pada model R3 dan R4 pada titik jendela memiliki hasil yang relatif sama dimana hasil yang didapatkan dibawah 1.00 m/s.



Gambar 4.15 Titik Ukur Jendela (*Outdoor*)

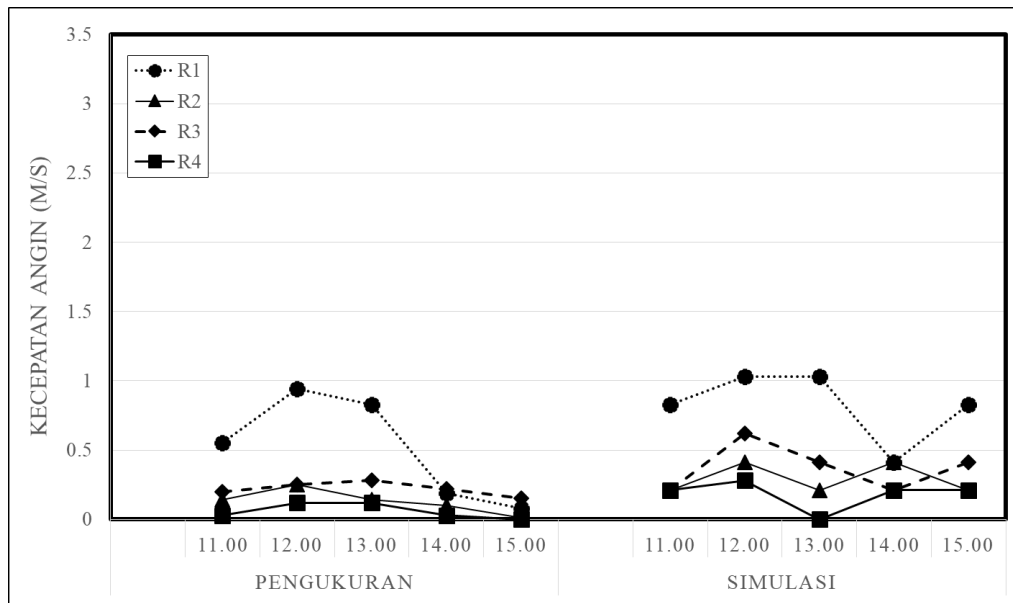
Kecepatan angin pada titik ukur jendela terbagi atas dua, menurut arah kedatangan angin, yaitu kecepatan angin pada model R1 dan R4 yang mendapatkan aliran angin langsung dari luar bangunan dan model R2 dan R3 yang mendapatkan

aliran angin langsung dari *courtyard*. Model R1 dan R4 tidak menunjukkan persamaan kecepatan angin antara pengukuran lapangan dan simulasi. Hal ini terjadi karena beberapa bentuk penyederhanaan pada model simulasi seperti Gambar 4.6. Menurut Blocken (2014), standar deviasi yang dianjurkan pada penelitian CFD adalah 0,5 m/s - 1 m/s. Akan tetapi standar deviasi tersebut tidak bisa diterapkan pada penelitian ini karena nilai yang dihasilkan jauh lebih kecil. Sedangkan Muhsin dkk (2017) pada penelitiannya menggunakan standar deviasi 20% dari nilai penyimpangan. Menurut standar deviasi tersebut hasil eksperimen sudah terpenuhi.

2. Pada Titik Ukur Tengah (*Indoor*)

Hasil tersebut menunjukkan kecepatan angin yang lebih tinggi dibandingkan hasil pengukuran lapangan, dan terdapat grafik fluktuatif pada model R1 dalam Gambar 4.15, hasil kecepatan angin pada jam 11.00, 0.50 m/s dan mengalami peningkatan pada jam 12.00 dan 13.00 hingga mencapai 1.00 m/s. Kecepatan angin mengalami penurunan kembali dibawah 0.50 m/s pada jam 14.00 dan 15.00. Sedangkan hasil simulasi menunjukkan bahwa pada jam 11.00, kecepatan angin hampir mencapai 1.00 m/s, selanjutnya konstan pada jam 12.00 dan 13.00 dengan kecepatan 1.00 m/s dan mulai mengalami penurunan pada jam 14.00 menjadi 0.50 m/s selanjutnya mengalami peningkatan kembali pada jam 15.00 dengan kecepatan sekitar 0.70 m/s.

Hasil pengukuran lapangan dan simulasi dalam Gambar 4.15, menunjukkan bahwa keduanya hampir sama pada setiap jam dimana kecepatan angin dibawah 1.00 m/s. Jika dibandingkan antara keduanya, hasil simulasi lebih tinggi dibandingkan hasil pengukuran. Hal tersebut dikarenakan terdapat elemen-elemen bangunan yang dikurangi sehingga model lebih sederhana dibandingkan dengan bangunan asli yang memiliki model dan detail yang kompleks. Semakin banyak pengurangan elemen detail bangunan pada model verifikasi maka aliran angin akan semakin kencang dikarenakan berkurangnya hambatan.



Gambar 4.15 Titik Ukur Tengah (*Outdoor*)

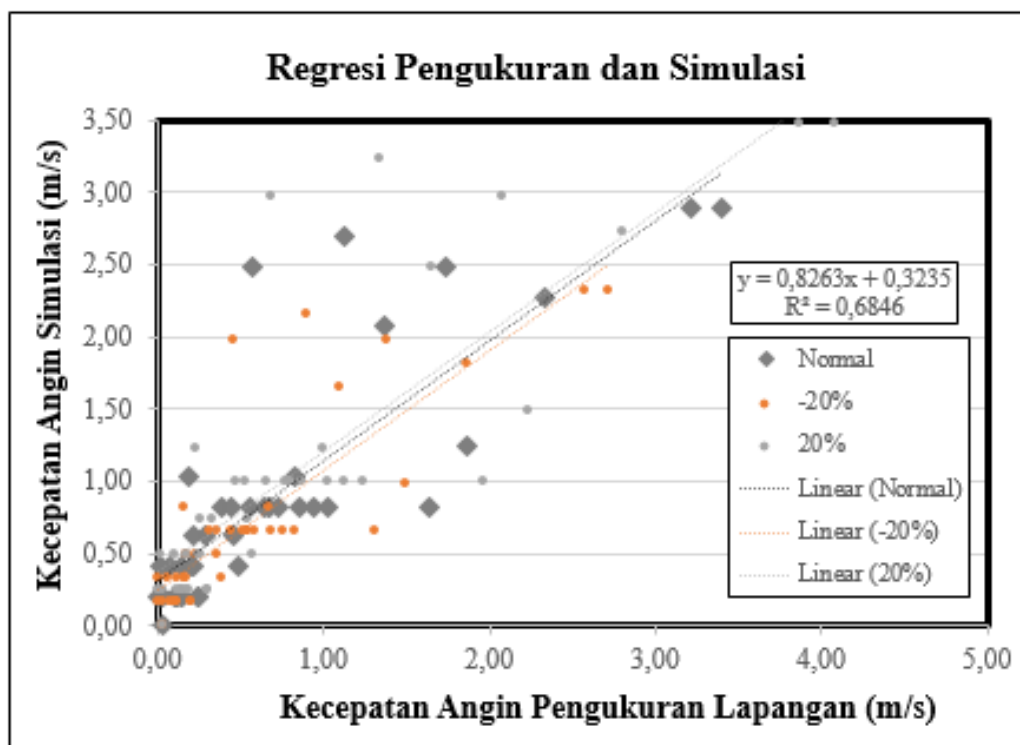
4.4.4 Kesimpulan Pengukuran Dan Simulasi

Berdasarkan perbandingan dengan pengukuran, hasil simulasi memiliki nilai yang lebih tinggi pada kelima jam. Hal ini dapat disebabkan pada model verifikasi banyak bentuk yang disederhanakan. Model pengukuran lapangan memiliki elemen – elemen yang menghambat aliran angin, seperti adanya *relling*, selain itu pada model verifikasi balkon dan bukaan pada unit hanya terdapat pada model verifikasi, dan untuk unit-unit sekitar obyek penelitian ditiadakan. Pada kondisi di lapangan balkon, dan bukaan pada setiap unit dapat menghambat aliran angin masuk kedalam bangunan.

Moore dkk (2013) menyatakan bahwa verifikasi dapat dilihat dari nilai regresi antar variabel untuk diketahui pengaruh antar variabel. Berdasarkan dari Gambar 4.17, didapatkan nilai regresi dari dua variabel, yaitu $R^2 = 0,67$. Henni (2018) menunjukkan klasifikasi nilai regresi antara hasil simulasi dan pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.4, nilai regresi 0,67 memiliki indikasi bahwa hasil simulasi dan pengukuran lapangan cukup baik.

Tabel 4.4 Klasifikasi Nilai Regresi

Nilai regresi	Hubungan antar variabel
$R^2 < 0,3$	Hubungan atau pengaruh antar variabel sangat lemah.
$0,3 < R^2 < 0,5$	Hubungan atau pengaruh antar variabel lemah.
$0,5 < R^2 < 0,7$	Hubungan atau pengaruh antar variabel cukup
$R^2 > 0,7$	Hubungan atau pengaruh antar variabel sangat kuat

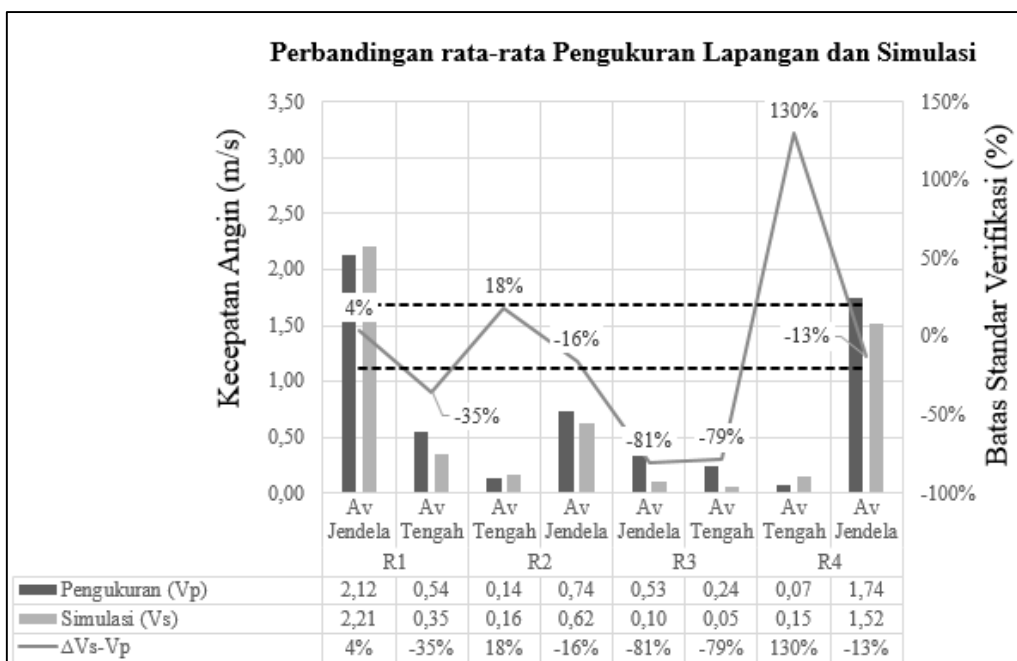


Gambar 4.17 Grafik Hasil Perbandingan Pengukuran dan Simulasi

Hasil rata-rata yang ditunjukkan dalam Gambar 4.17, pada simulasi jendela R1, tengah dan jendela R2, serta tengah dan jendela R4. Nilai penyimpangan pada hasil simulasi jendela R1 sebesar 4%, sedangkan pada ruang tengah R2 sebesar 18%. Menurut Blocken (2014) standar deviasi yang dianjurkan pada penelitian CFD adalah 0,5 m/s - 1 m/s, akan tetapi standar deviasi tersebut tidak bisa diterapkan pada penelitian karena nilai yang dihasilkan lebih kecil. Muhsin et al. (2017) pada penelitiannya menggunakan standar deviasi 20% pada nilai penyimpangan. Simulasi bersifat valid apabila nilai penyimpangan kurang dari 20%. Hasil deviasi pada R1, R2, R3, R4 ditunjukkan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Deviasi 20% pada setiap Unit Apartemen

R1		R2		R3		R4	
Jendela	Tengah	Tengah	Jendela	Jendela	Tengah	Tengah	Jendela
69%	13%	50%	84%	140%	5%	950%	-49%
-12%	33%	64%	103%	121%	64%	91%	-26%
-16%	46%	114%	41%	79%	122%	-100%	-56%
122%	337%	310%	41%	113%	86%	600%	-39%
263%	1188%	12300%	-2%	415%	313%	0%	-6%



Gambar 4.18 Grafik Hasil Perbandingan Rata-rata Hasil Simulasi dan Pengukuran Lapangan

Kecepatan angin pada area jendela unit R1 dan R4 Gambar 4.18 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan unit-unit lain yang menjadi model verifikasi penelitian. Kecepatan angin pada jendela yang tidak menghadap *courtyard* lebih memiliki rata-rata nilai yang lebih besar, di atas 1,50 m/s dikarenakan mendapat aliran angin langsung dari luar bangunan, sedangkan jendela yang menghadap *courtyard* dimana aliran angin rendah, yaitu di bawah 1,00 m/s.

Jendela R1, Tengah R2, Jendela R2, dan Jendela R4 adalah unit yang masuk dalam standar deviasi 20% penyimpangan. Sedangkan pada tengah unit R1, jendela dan tengah R3, tidak memenuhi standar deviasi 20%.

BAB 5

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

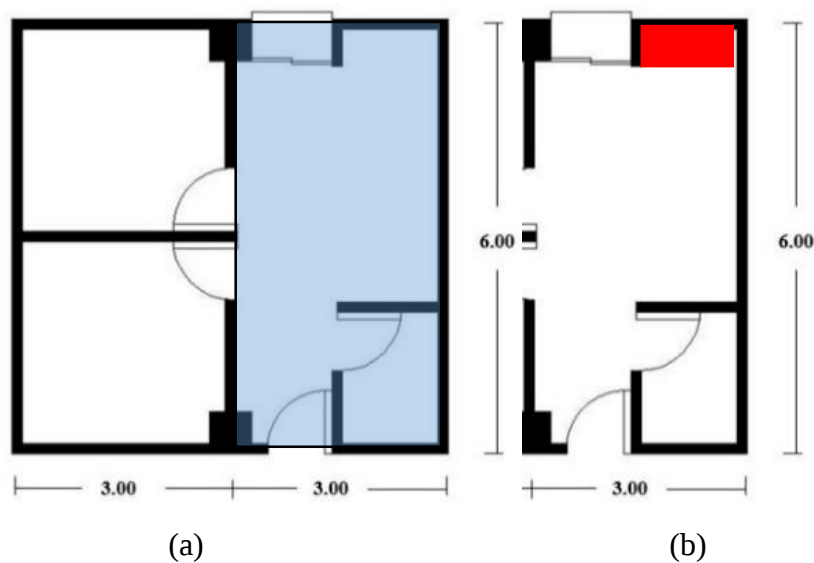
5.1 Model Base Case

Pada penelitian ini, tipe unit terpilih adalah unit 2 BR seperti pada Gambar 5.1, unit apartemen tersebut tidak mengalami pembayangan. Sepanjang hari unit tersebut terpapar sinar matahari langsung. Posisi unit yang berada dekat dengan jendela koridor, mengakibatkan aliran angin *outdoor* lebih besar dibandingkan sisi yang lain. Namun kondisi pada unit tersebut mengalami penyinaran matahari pada dua bidang dindingnya, sehingga menghasilkan temperatur yang lebih panas dibandingkan dengan sisi bidang yang tidak terpapar secara langsung. Oleh sebab itu, dalam bab ini melihat kecepatan angin sebelum, dan sesudah menggunakan *solar chimney*. *Inlet* pada denah penelitian terbagi atas dua; (1) *inlet* dari luar menuju koridor, dan (2) *inlet* dari koridor kedalam unit seperti pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Denah Unit Penelitian

Dimensi objek penelitian dijelaskan dalam Gambar 5.2a, gambar menunjukkan zona penelitian yang berada pada ruang keluarga, dapur, dan toilet. Namun area yang menjadi fokus penelitian adalah ruang keluarga. Posisi perletakan *solar chimney* dijelaskan dalam Gambar 5.2b.



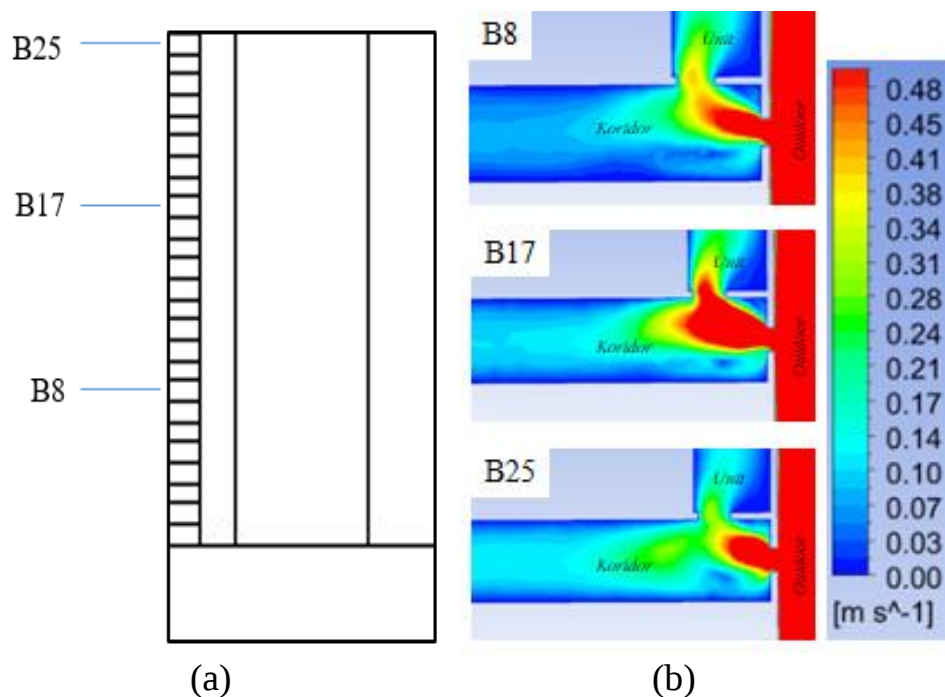
Gambar 5.2 (a) Zona Penelitian; (b) Posisi Perletakan *Solar Chimney*

5.1.1 Model *Base Case* di berbagai Ketinggian Bangunan

Mengingat kompleksitas pada pembuatan model simulasi *solar chimney* yang tinggi dan tidak bisa dilakukan dengan model Autocad, maka pembuatan model simulasi *solar chimney* menggunakan Gambit hanya bisa dilakukan pada unit apartemen. Berhubungan dengan hal tersebut, untuk mendapatkan kecepatan angin pada *inlet* unit, maka perlu juga melakukan simulasi pada koridor, dan unit apartemen. Hasil kecepatan angin pada koridor nantinya akan digunakan sebagai nilai *input* kecepatan angin yang masuk ke dalam unit apartemen. Sedangkan hasil kecepatan angin pada unit, akan menjadi *base case* sebelum pengaplikasian *solar chimney*. Hasil yang diharapkan adalah perbandingan kecepatan angin pada unit apartemen sebelum, dan sesudah menggunakan *solar chimney*.

5.1.2 Hasil Kecepatan Angin pada Koridor

Pengaruh dari ketinggian bangunan terhadap kinerja *solar chimney*. Dalam hal ini, ketinggian dibagi menjadi tiga bagian; ketinggian bawah, tengah, dan atas seperti pada Gambar 5.3a. Hasil simulasi ditunjukkan dalam Gambar 5.3b, pada setiap ketinggian yang sudah ditentukan.

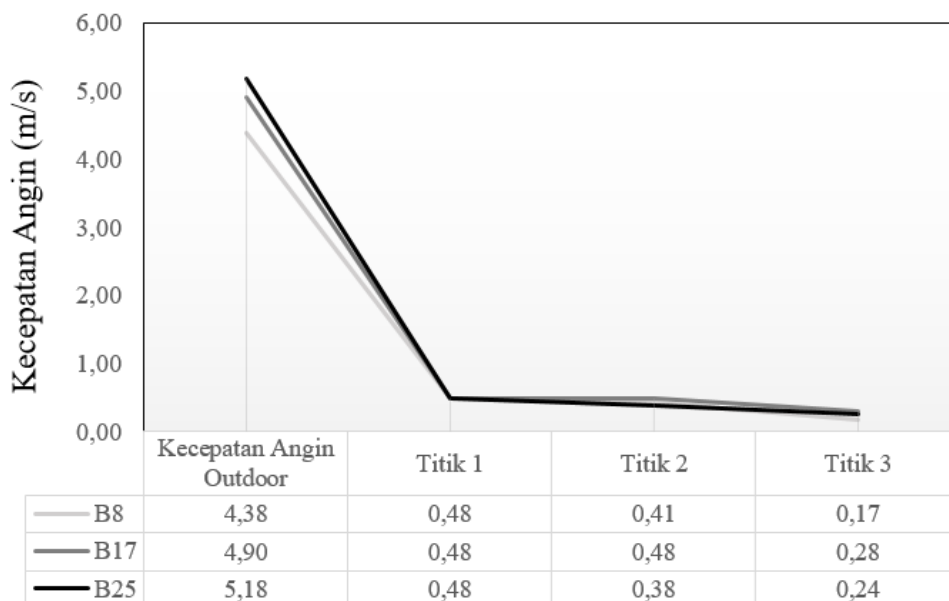


Gambar 5.3 (a) Posisi Ketinggian; (b) Hasil Simulasi Kecepatan Angin Koridor

Dilihat dari hasil simulasi pada Gambar 5.3b, kecepatan angin *outdoor* yang masuk melalui jendela koridor adalah 0,48 m/s. Kecepatan angin tersebut, tidak mengalami perbedaan yang begitu besar seperti pada Gambar 5.4. Pada koridor B17, kecepatan angin masuk lebih besar jika dibandingkan pada koridor lain. Sedangkan kecepatan angin terendah berada pada koridor B25. Pada Gambar 5.4, pola kecepatan angin dimulai pada titik yang sama, namun mengalami penurunan dengan nilai kecepatan angin yang berbeda-beda pada saat berada dititik 2. Pada titik 2, B17 memiliki kecepatan yang sama dengan kecepatan awal pada titik 1. Sedangkan pada B25 kecepatan angin menurun dari titik awal 0.10 m/s. Selanjutnya terus mengalami penurunan kecepatan angin hingga titik 3.

Hasil kecepatan angin pada titik 2 (Gambar 5.4) dijadikan sebagai input kecepatan angin yang masuk kedalam unit. Seperti yang dijelaskan dalam Tabel 5.1, input kecepatan angin awal lebih besar, namun saat masuk kedalam koridor kecepatan angin terus mengalami penurunan dengan rata-rata 2.63 m/s. Input kecepatan angin *outdoor* dijelaskan pada Gambar 5.4, grafik kecepatan angin dari kawasan obyek penelitian yang masuk kedalam koridor dengan proses penurunan kecepatan angin (Gambar 5.4)

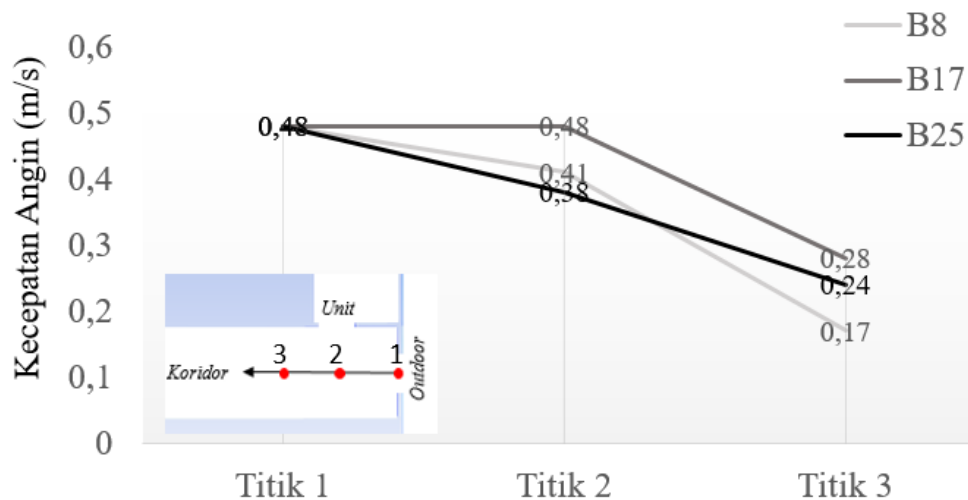
Grafik Kecepatan Angin pada Koridor



Gambar 5.4 Grafik Kecepatan Angin pada Koridor

Grafik penurunan kecepatan angin dijelaskan dalam gambar 5.5 dimana pola kecepatan angin terus mengalami penurunan pada setiap lantainya. Hasil kecepatan angin yang sama pada saat berada di titik 1, kecepatan angin yang masuk melalui jendela koridor. Kecepatan angin tertinggi berada pada ketinggian B17, sedangkan kecepatan penurunan angin terendah berada pada ketinggian B25.

Grafik Penurunan Kecepatan Angin pada Koridor



Gambar 5.5 Grafik Penurunan Kecepatan Angin Koridor

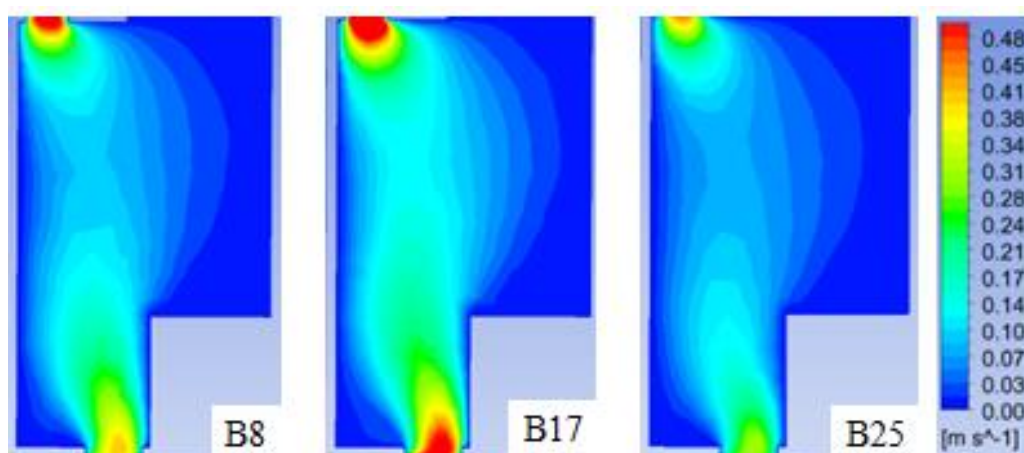
Hasil tersebut dijelaskan dalam Tabel 5.1 dimana dapat dilihat ΔV dari setiap titik simulasi. Titik 2 (v2) adalah hasil kecepatan angin yang akan dijadikan input pada *inlet solar chimney*. Sehingga dapat dilihat pada kecepatan 4,38 m/s ketinggian B8, kecepatan angin mengalami perubahan kecepatan 91% dari kecepatan V_o . Selanjutnya pada saat posisi ketinggian B17, penurunan kecepatan angin menurun 90% dari kecepatan angin *outdoor*. Pada ketinggian B25 kecepatan angin -93% mengalami penurunan dari 5,18 m/s kecepatan angin *outdoor*. Hal tersebut mengidentifikasikan bahwa, rata-rata penurunan kecepatan angin pada titik 2 mengalami penurunan sebesar 90% dari kecepatan angin *outdoor*.

Tabel 5.1 Penurunan Kecepatan Angin

Ketinggian Lantai	Kecepatan Angin Outdoor (V_o) (m/s)	Titik 1 (V1) (m/s)	ΔV (V1- V_o)	Titik 2 (V2) (m/s)	ΔV (V2- V_o)	Titik 3 (V3) (m/s)	ΔV (V3- V_o)
B8	4,38	0,48	-89%	0,41	-91%	0,17	-96%
B17	4,90	0,48	-90%	0,48	-90%	0,28	-94%
B25	5,18	0,48	-91%	0,38	-93%	0,24	-95%

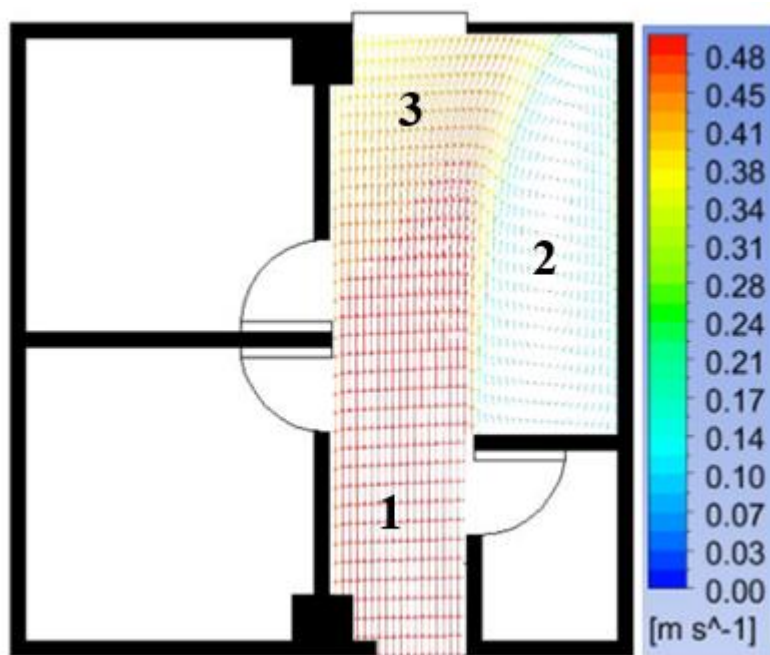
5.1.3 Hasil Kecepatan Angin pada Unit

Kecepatan angin pada setiap ketinggian unit apartemen memiliki pola yang sama, namun dengan kecepatan yang berbeda-beda pada setiap lantainya. Hasil simulasi dari kontur kecepatan angin tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Kecepatan Angin pada Unit

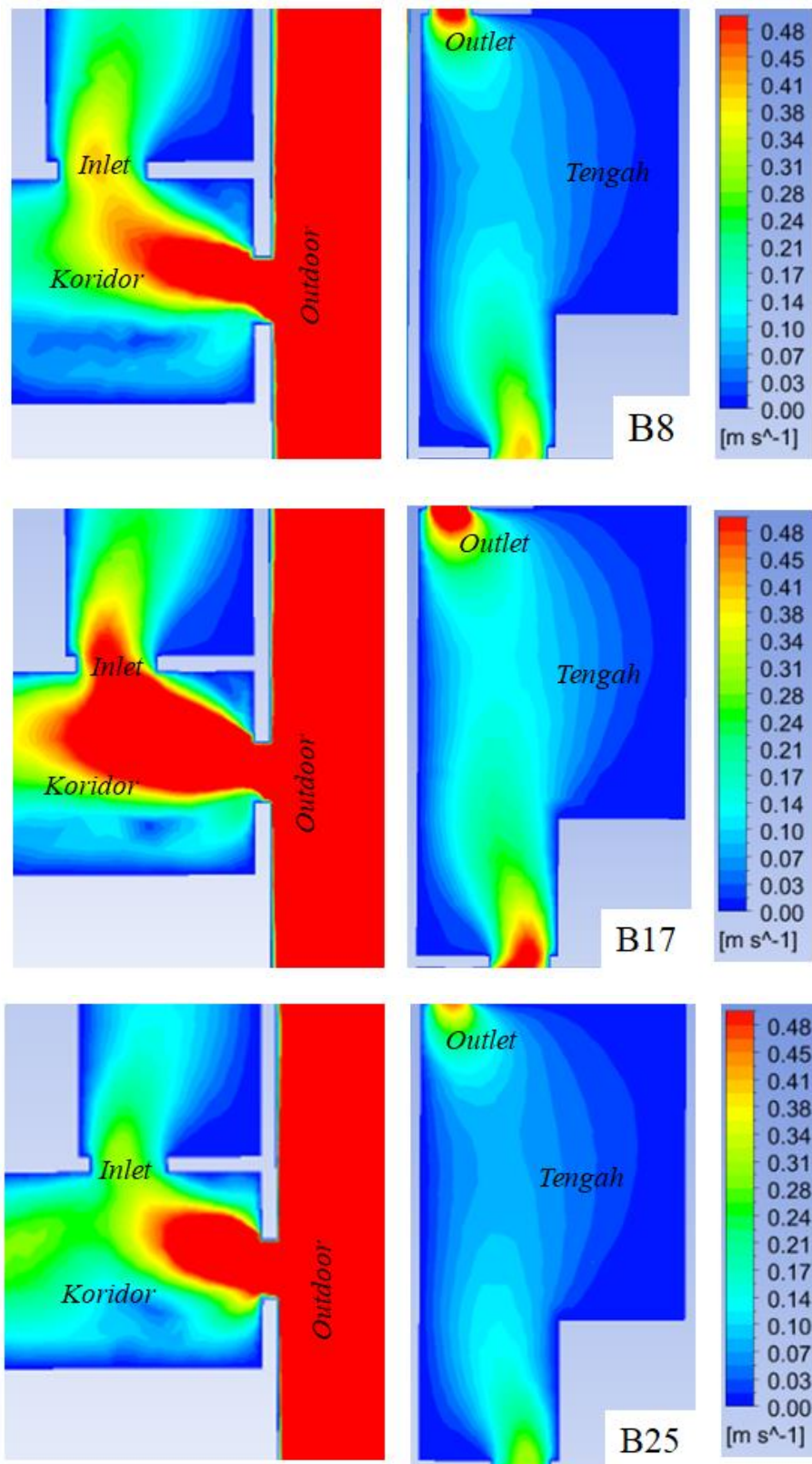
Perbandingan hasil simulasi pada setiap lantai ketinggian dalam Gambar 5.6 menghasilkan kecepatan angin tertinggi berada pada ketinggian B17. Oleh sebab itu, kecepatan angin tersebut divisualkan dalam bentuk *vector* dalam Gambar 5.7. Hasil identifikasi simulasi pada ketinggian B17, tidak adanya aliran kecepatan angin pada pada titik 2. Unit yang mendapatkan paparan sinar matahari langsung pada dua bidangnya, mengakibatkan zona tersebut menjadi sangat panas. Hasil simulasi menunjukkan kecilnya aliran kecepatan angin pada titik tersebut menjadikan zona tersebut menjadi tidak nyaman.



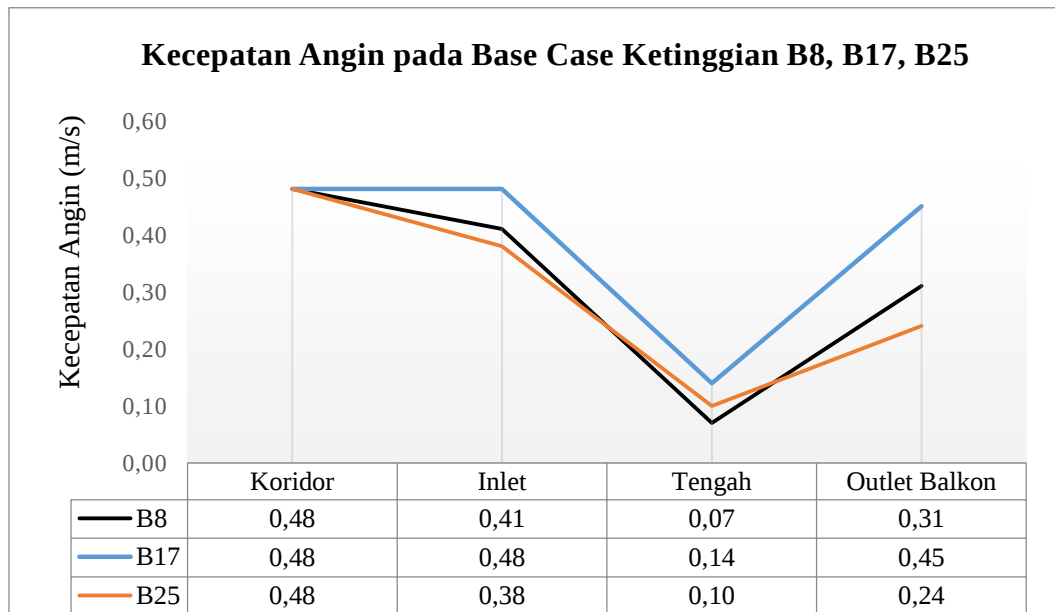
Gambar 5.7 *Vector* pada unit B17

5.1.4 Hasil Kecepatan Angin dari Koridor menuju Unit

Hasil input kecepatan angin yang dijelaskan dalam Tabel 5.1 pada titik 2, digunakan sebagai input kecepatan pada *inlet base case*. Untuk mendapatkan ΔV dari *inlet* menuju balkon di unit pada setiap ketinggian. Hasil simulasi divisualkan dalam kontur pada koridor dan unit apartemen *base case* yang dijelaskan dalam Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Kontur kecepatan angin pada *base case* ketinggian B8, B17, B25



Gambar 5.8 Grafik kecepatan angin pada *base case* ketinggian B8, B17, B25

Tabel 5.2 Penurunan Kecepatan Angin

Ketinggian (m)	Kecepatan Angin Koridor (m/s)	V Inlet (m/s)	ΔV (%)	V Tengah (m/s)	ΔV (%)	V Outlet Balkon (m/s)	ΔV (%)
B8	0,48	0,41	-	0,07	-	0,31	-
B17	0,48	0,48	17%	0,14	100%	0,45	45%
B25	0,48	0,38	-7%	0,10	43%	0,24	-23%

Grafik hasil simulasi yang ditunjukkan dalam Gambar 5.1b adalah gambaran kecepatan angin yang masuk ke dalam bangunan dari luar menuju koridor pada ketinggian B8, B17, dan B25. Hasil menunjukkan dengan *input* angin yang besar tidak menjamin angin yang masuk ke dalam bangunanpun besar. Hal ini dijelaskan dalam Tabel 5.2, hasil simulasi menunjukan, pada setiap ketinggian lantai angin yang masuk ke koridor mengalami penurunan kecuali pada ketinggian B17. Kecepatan angin pada ketinggian B17 mengalami peningkatan perubahan kecepatan 17% dari kecepatan pada ketinggian B8. Sedangkan pada saat ketinggian B25, perubahan kecepatan angin menurun 7% dari ketinggian B8.

Seiring bertambahnya ketinggian lantai bangunan kecepatan anginpun semakin meningkat seperti pada hasil kecepatan angin *outdoor* yang dijelaskan dalam Tabel 5.1. Namun hasil kecepatan angin yang masuk pada koridor adalah 0,48 m/s. Pada model B8 input kecepatan angin adalah 4.38 m/s, namun hasil

kecepatan angin yang masuk dari koridor menuju unit sebesar 0.41 m/s, seiring bertambahnya ketinggian pada model B17 yang mewakili ketinggian tengah hasil kecepatan angin yang masuk dari koridor menuju unit 0.55 m/s lebih besar dibandingkan pada ketinggian model B8. Pada ketinggian B25 input kecepatan angin mencapai 5.18 m/s, namun kecepatan angin mengalami penurunan sebesar 2.78 m/s menjadi 0.38. Perubahan kecepatan angin pada ketinggian B17 naik 17% dibandingkan dengan kecepatan angin pada lantai B8, sedangkan perubahan kecepatan angin pada lantai 25 mengalami penurunan 7% dari kecepatan angin B8.

Hasil simulasi model *base case* menunjukkan rentang kecepatan angin pada setiap lantai masuk dalam kondisi nyaman. Menurut Szkolay (2004), hasil *input* kecepatan angin pada *inlet* dengan rentang 0.38 – 0.55 m/s. Hal tersebut juga dibenarkan oleh Santamouris (2006) untuk aktivitas ringan dalam ruangan kecepatan angin yang nyaman berkisar antara 0.20 – 1.50 m/s. Dari pembahasan tersebut, dapat diidentifikasi bahwa ketinggian bangunan berpengaruh terhadap kecepatan angin. Dengan kecepatan angin yang sama, kecepatan angin cenderung menurun saat berada pada ketinggian maksimum.

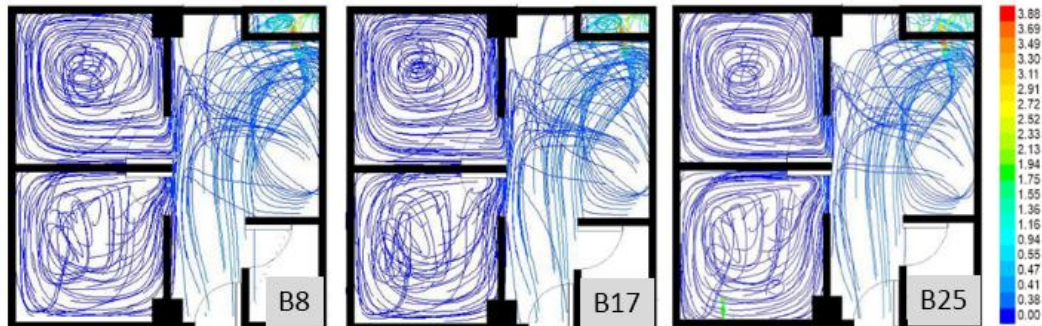
5.2 Pengaruh Ketinggian Terhadap Kinerja Solar Chimney

Setelah mendapatkan hasil *input* kecepatan angin pada koridor yang masuk ke dalam unit apartemen selanjutnya melihat hasil kinerja *solar chimney* menggunakan input kecepatan angin pada model B8, B17, dan B25. Perbedaan temperatur *indoor* dan *outdoor* yang kecil menyebabkan tidak dapat diaplikasikan *solar chimney* pada iklim tropis. Monghasemi (2017), berpendapat media untuk menciptakan perbedaan temperatur di dalam *solar chimney* adalah dengan memanaskan salah satu bidang atau permukaannya. Oleh sebab itu simulasi dilakukan dengan melihat pengaruh dari material dan ketinggian bangunan agar dapat menghasilkan perbedaan temperatur antara *indoor* dan *outdoor*.

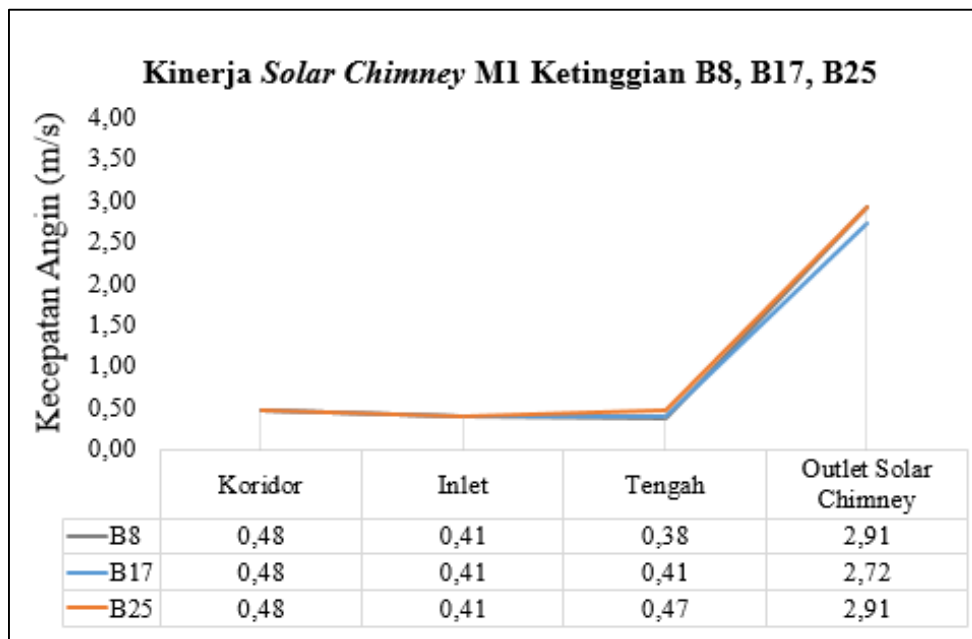
5.2.1 Solar Chimney Beton (M1)

Pada gambar 5.9 ditunjukkan hasil simulasi pada setiap model unit apartemen yang dibandingkan dengan ketinggian lantai. Gambar tersebut

menunjukkan pola pergerakan angin yang sama pada setiap lantainya, namun memiliki kecepatan yang berbeda seperti yang dijelaskan dalam Gambar 5.10.



Gambar 5.9 Hasil Simulasi *Solar Chimney* ketinggian B8, B17, B25



Gambar 5.10 Hasil kinerja *solar chimney* M1 ketinggian B8, B17, B25

Tabel 5.3 Perubahan Kecepatan Angin *soalar chimney* Beton

Ketinggian (m)	Kecepatan Angin Koridor (m/s)	V Inlet (m/s)	ΔV (%)	V Tengah (m/s)	ΔV (%)	V Outlet Solar Chimney (m/s)	ΔV (%)
B8	0,48	0.41	-	0.38	-	2.91	-
B17	0,48	0.48	7%	0.41	3%	2.72	-9%
B25	0,48	0.38	-3%	0.47	8%	2.91	19%

Pada lantai B17, kinerja *solar chimney* M1 lebih tinggi dibandingkan pada ketinggian lain. Sedangkan ketinggian terendah pada titik tengah zona penelitian

berada pada ketinggian B8. Berbeda dengan Warapom (2017), pada setiap ketinggian *solar chimney* beton menghasilkan rata-rata kecepatan angin diatas 2,50 m/s pada area *outlet* dekat cerobong *solar chimney*. Pada ketinggian B8 dan B25, kecepatan angin pada *outlet* cerobong mencapai 2,91 m/s lebih tinggi jika dibandingkan pada ketinggian B17, yaitu 2,72 m/s. Kecepatan angin pada titik tengah material beton dijelaskan dalam dalam Tabel 5.3, pada ketinggian B17 dan B25, perubahan kecepatan angin meningkat 8% jika dibandingkan dengan kecepatan angin pada ketinggian B8. Kecepatan angin pada pada titik tengah, sudah masuk dalam kecepatan angin nyaman menambahkan dari apa yang sudah diteliti oleh Santamouris (2006).

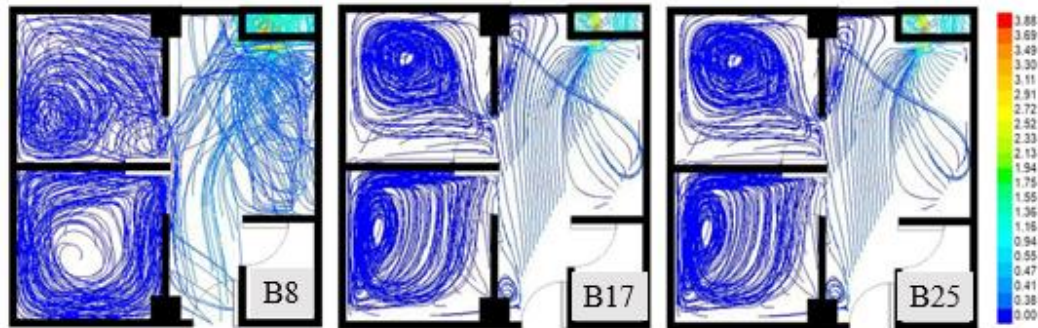
5.2.2 Solar Chimney Kaca (M2)

Menambahkan Amin (2016), hasil simulasi material M2, ditunjukkan dalam gambaran visual berupa kontur kecepatan angin Gambar 5.11. Pola kecepatan angin pada zona penelitian memiliki pola yang berbeda. Hasil yang ditunjukkan, ketinggian B17 dan B25 memiliki pola yang sama. Sedangkan ketinggian B8, memiliki pola yang berbeda. Hasil tersebut dijelaskan dalam grafik pada Gambar 5.12, dimana pada gambar tersebut kecepatan angin tertinggi berada pada ketinggian B 17, dan B25. Sedangkan kecepatan angin terendah berada pada kecepatan B8. Walaupun memiliki kecepatan angin yang sama, namun peningkatan kecepatan angin yang dihasilkan pada *outlet solar chimney* ketinggian B25 lebih tinggi dibandingkan pada ketinggian lain.

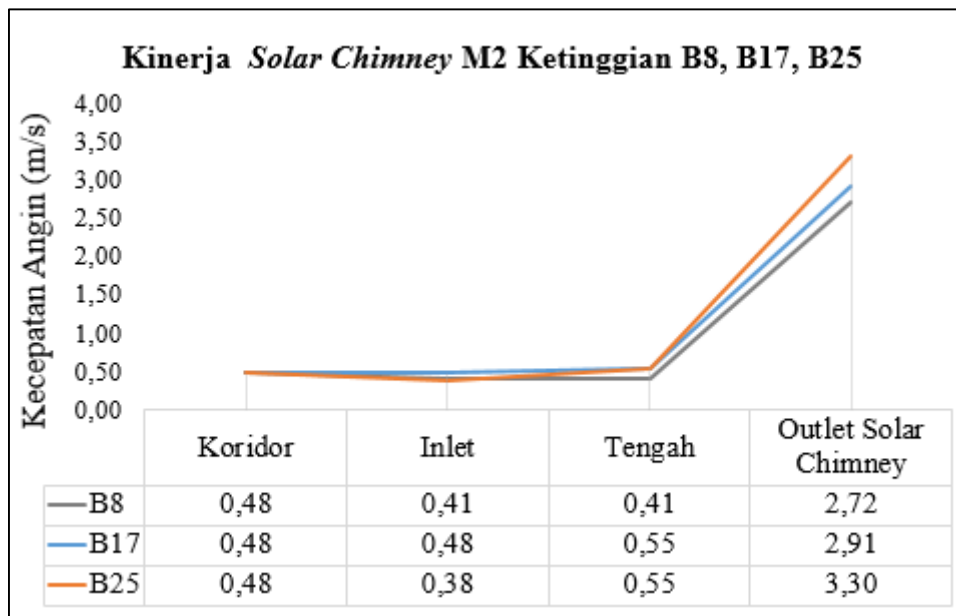
Perubahan kecepatan angin pada *solar chimney* kaca ditunjukkan dalam Gambar 5.12, pada gambar tersebut dijelaskan pola pergerakan angin dari koridor menuju *inlet*, serta dari tengah dan ditarik menuju *outlet solar chimney*. Pola kecepatan angin terus mengalami peningkatan pada setiap jamnya. Kecepatan tertinggi berada pada titik tengah ketinggian B17 dan B25. Sedangkan pada ketinggian B8, hasil kecepatan angin tidak mengalami perubahan.

Pada ketinggian B17, dan B25 perubahan kecepatan angin meningkat 15% dibandingkan pada ketinggian B8. Sedangkan perubahan kecepatan angin pada *outlet solar chimney* meningkat 19% pada ketinggian B17 dibandingkan ketinggian

B8. Perubahan kecepatan angin juga meningkat 39% pada ketinggian B25 dari ketinggian B8, perubahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.4.



Gambar 5.11 Hasil kinerja solar chimney M2 ketinggian B8, B17, B25



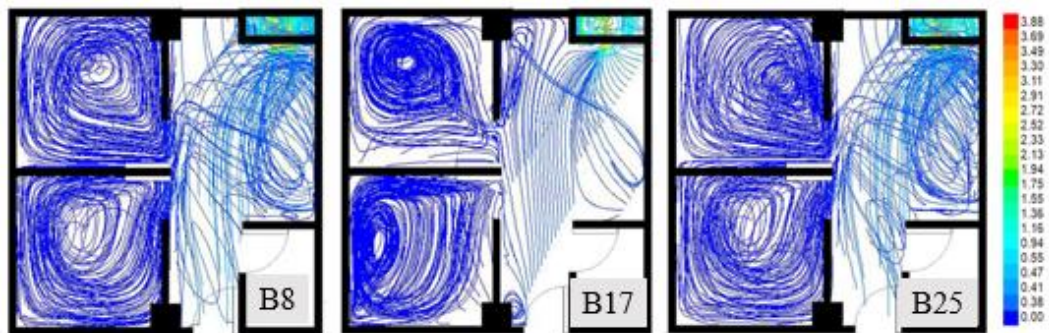
Gambar 5.12 Hasil kinerja solar chimney M2 ketinggian B8, B17, B25

Tabel 5.4 Perubahan Kecepatan Angin solar chimney Kaca

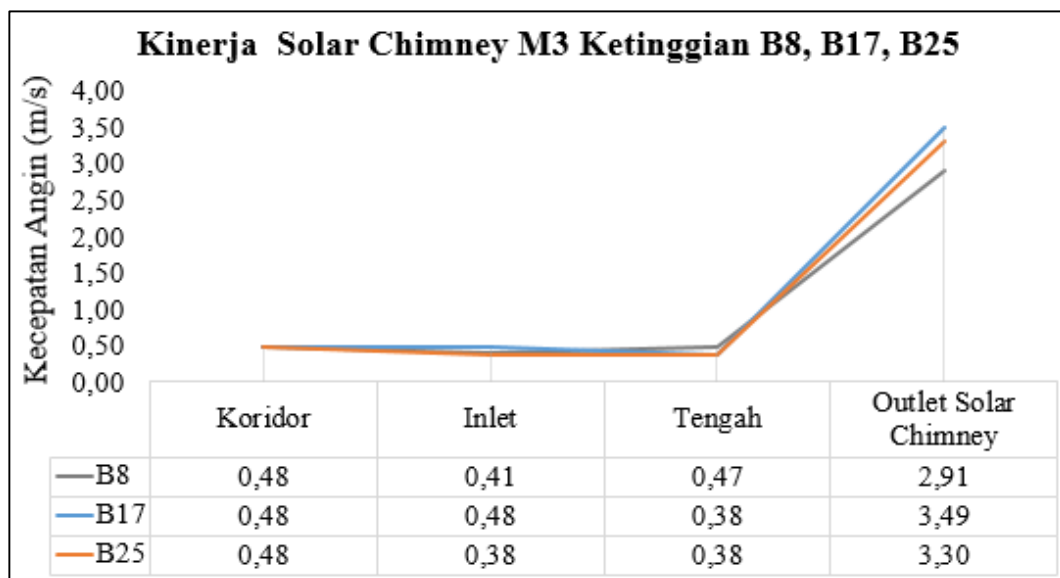
Ketinggian (m)	Kecepatan Angin Koridor (m/s)	V Inlet (m/s)	ΔV (%)	V Tengah (m/s)	ΔV (%)	V Outlet Solar Chimney (m/s)	ΔV (%)
B8	0,48	0.41	-	0.4	-	2.72	-
B17	0,48	0.48	7%	0.55	15%	2.91	19%
B25	0,48	0.38	-3%	0.55	15%	3.3	39%

5.2.3 Solar Chimney Baja (M3)

Model M3 berdasarkan Gambar 5.13 menunjukkan hasil simulasi pada setiap model unit apartemen yang dibandingkan dengan ketinggian lantai. Gambar tersebut menunjukkan pola pergerakan angin yang sama pada ketinggian B8 dan B25, namun memiliki kecepatan yang berbeda seperti yang di jelaskan dalam Gambar 5.14. Hasil simulasi pada Gambar 5.13 menunjukkan kontur kecepatan angin dengan pola yang sama, namun perubahan kecepatan dari koridor menuju *outlet solar chimney* dapat dilihat pada Gambar 5.14. Pada grafik tersebut kecepatan angin tertinggi pada titik tengah berada pada ketinggian B8 dengan kecepatan angin 0,47 m/s. Sedangkan kecepatan angin pada ketinggian B17 dan B25 adalah 0,38 m/s.



Gambar 5.13 Hasil kinerja *solar chimney* M3 ketinggian B8, B17, B25



Gambar 5.14 Hasil kinerja *solar chimney* M3 ketinggian B8, B17, B25

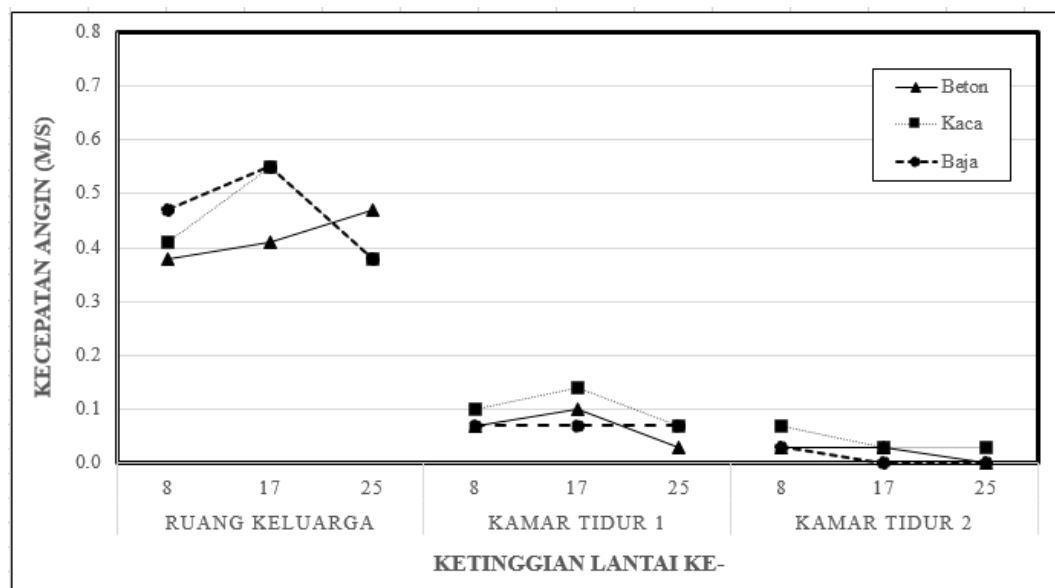
Tabel 5.5 Perubahan Kecepatan Angin *solar chimney* Baja (M3)

Ketinggian (m)	Kecepatan Angin Koridor (m/s)	V Inlet (m/s)	ΔV (%)	V Tengah (m/s)	ΔV (%)	V Outlet Solar Chimney (m/s)	ΔV (%)
B8	0,48	0.41	-	0.47	-	2.91	-
B17	0,48	0.48	7%	0.38	-9%	3.49	58%
B25	0,48	0.38	-3%	0.38	-9%	3.30	39%

Perubahan kecepatan angin pada titik tengah ketinggian B17, dan B25 menurun 9% dari kecepatan angin pada ketinggian B8. Sedangkan kecepatan angin pada *outlet solar chimney* ketinggian B17, meningkat 58% dibandingkan dengan kecepatan angin pada *outlet solar chimney* B8. Pada ketinggian B25, kecepatan angin meningkat 39% dibandingkan kecepatan angin *outlet* pada ketinggian B8.

Hasil kecepatan angin pada material baja pada model B8 0.38 m/s, lebih rendah dibandingkan dengan hasil kecepatan angin pada model B17 dan B25 yaitu 0.41m/s. kecepatan angin tersebut masuk kedalam kategori nyaman menurut Szokolay (2004). Didentifikasi kinerja *solar chimney* berpengaruh terhadap ketinggian bangunan jika menggunakan material baja pada permukaan bidangnya. Pada ketinggian B8 material baja menghasilkan aliran angin 0.41 m/s, sedangkan pada ketinggian B17 dan B25 kecepatan angin yang dihasilkan dari *solar chimney* baja adalah 0.55 m/s. Gambar 5.14 hasil simulasi menunjukkan kinerja material baja pada ketinggian B8 mencapai 0.47m/s lebih tinggi dibandingkan hasil pada ketinggian B17, dan B25.

Hasil analisis distribusi aliran angin ditinjau berdasarkan pada pola pergerakan angin dan nilai kecepatan angin dalam ruang perimeter. Karakteristik aliran angin optimal tidak hanya mengandalkan kecepatan angin yang maksimal namun hanya tersedia pada area yang terbatas. Menurut Boutet (1987), aliran angin yang optimal merupakan aliran angin yang terdistribusi secara maksimal ke seluruh area ruangan. Gambar 5.15 menunjukkan hasil distribusi udara yang tidak maksimal pada kamar tidur 1 dan kamar tidur 2. Aliran angn hanya terdapat pada area zona penelitian, namun tidak terdistribusi secara merata diluar zona tersebut.



Gambar 5.15 Grafik hasil simulasi kecepatan angin pada unit

Kecepatan angin pada ruang keluarga cenderung meningkat mengikuti ketinggian lantai, pada Tabel 5.2 dijelaskan tentang perhitungan *power law* yang menghasilkan kecepatan angin pada setiap kelompok ketinggian. Hasil simulasi kecepatan angin pada ruang keluarga ditunjukkan dalam Gambar 5.15, adapun kecepatan angin pada ruang keluarga tertinggi pada material M3 dan material M1 dengan kecepatan angin pada ketinggian B17. Grafik tersebut menjelaskan nilai rata – rata kecepatan angin pada ketiga jenis material *solar chimney*.

Hasil studi oleh Muhsin dkk. (2017), menunjukkan bahwa ruangan pada lantai paling atas yang berdekatan dengan ruang pelepasan memiliki kecepatan lebih rendah jika dibandingkan dengan kecepatan pada ruang di bawahnya pada Gambar 5.15. Hal tersebut ditambahkan pada model B25 material baja, dimana hasil kecepatan angin menurun pada ketinggian maksimal. Hal tersebut tidak berlaku pada ketinggian minimal, yaitu pada model B17 dan B8 dimana hasil yang ditunjukkan relatif sama dengan hasil *input* kecepatan angin. Kondisi kecepatan angin pada ruangan dengan perbedaan ketinggian. Kecepatan rata-rata akan semakin meningkat pada posisi ruangan yang lebih tinggi, namun kondisi ruangan yang mendekati ruang pelepasan akan mengalami penurunan kecepatan dibandingkan dengan ruang di bawahnya. Micallef dkk (2016) menyebutkan dalam studinya bahwa ketinggian akan berpengaruh terhadap kondisi penghawaan alami

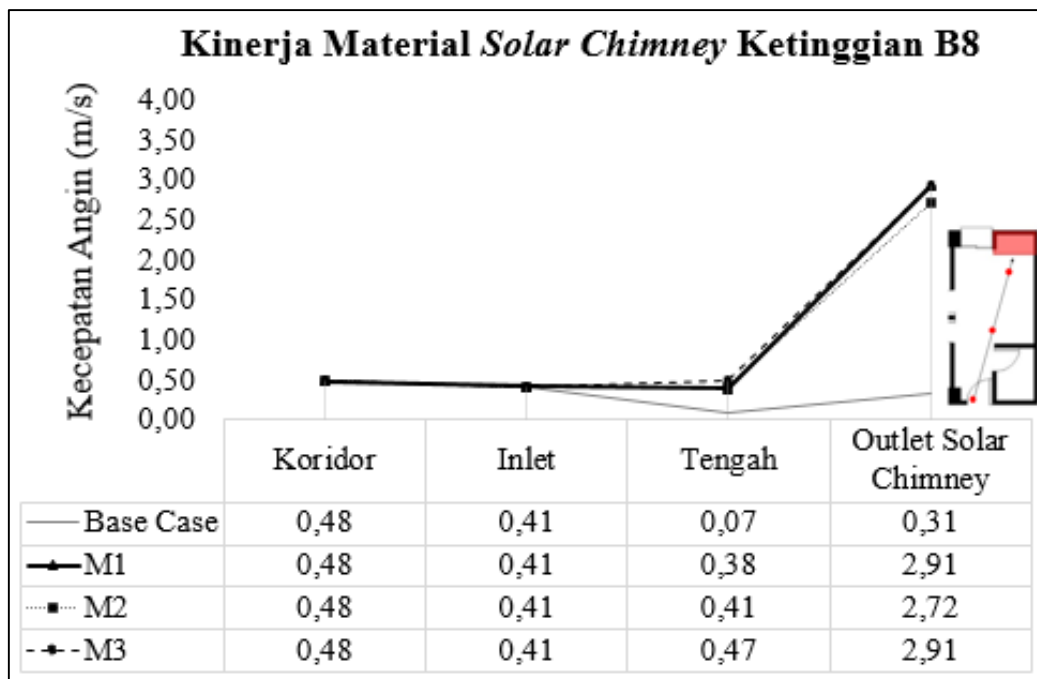
pada setiap ruang. Namun dalam penelitian ini kinerja *solar chimney* hanya berpengaruh pada zona yang diteliti.

5.3 Pengaruh Material Terhadap Kinerja *Solar Chimney*

Material beton, baja, dan kaca adalah material yang disarankan diaplikasikan pada *solar chimney*. Oleh sebab itu, perlu untuk melihat seberapa besar pengaruh kinerja material terhadap ketinggian bangunan dalam penelitian ini.

5.3.1 Ketinggian B8

Pengaruh material pada ketinggian B8 dijelaskan dalam Gambar 5.16, pada gambar tersebut dapat dilihat peningkatan kecepatan angin ketiga material berada diatas kecepatan angin *base case*. Kecepatan tertinggi pada ruang tengah 0,47 m/s pada material M3. Sedangkan kecepatan angin terendah pada ketinggian B8, berada pada material M1, yaitu 0.38 m/s. Peningkatan kecepatan angin dengan rata-rata 2,84 m/s pada *outlet solar chimney* setiap material.



Gambar 5.16 Pengaruh material M1, M2, M3 pada ketinggian B8

Perubahan kecepatan angin menurun 15 % pada setiap material dari kecepatan angin koridor menuju *inlet* (Tabel 5.6). Pada material M1, perubahan

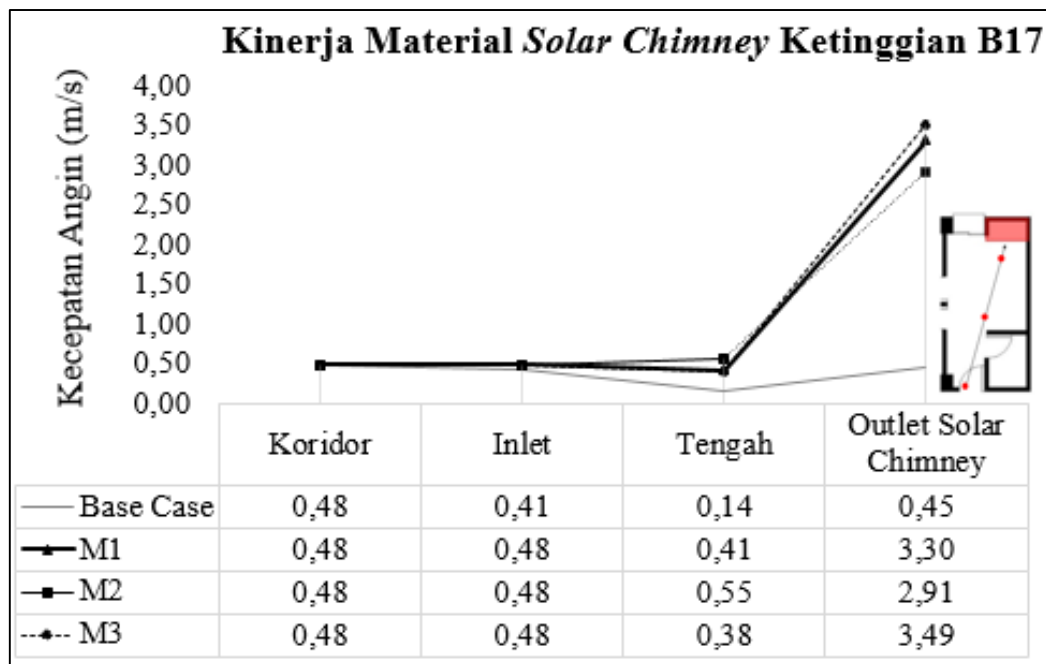
kecepatan angin menurun 7 % dari kecepatan angin *inlet*. Material M2 tidak mengalami perubahan kecepatan angin pada ketinggian B8. Material M3 mengalami perubahan kecepatan angin yang meningkat 15 % dari kecepatan angin pada *inlet*.

Tabel 5.6 Perubahan Kecepatan Angin ketinggian B8

Ketinggian (m)	Kecepatan Angin Koridor (m/s)	V Inlet (m/s)	ΔV (%)	V Tengah (m/s)	ΔV (%)	V Outlet Solar Chimney (m/s)	ΔV (%)
M1	0.48	0.41	-15%	0.38	-7%	2.91	666%
M2	0.48	0.41	-15%	0.41	0%	2.72	563%
M3	0.48	0.41	-15%	0.47	15%	2.91	519%

5.3.2 Ketinggian B17

Pengaruh material pada ketinggian B17 dijelaskan dalam Gambar 5.17, pada gambar tersebut dapat dilihat peningkatan kecepatan angin ketiga material berada diatas kecepatan angin *base case*. Kecepatan tertinggi pada ruang tengah 0,55 m/s pada material M2. Sedangkan kecepatan angin terendah pada ketinggian B8, berada pada material M3, yaitu 0.38 m/s. Peningkatan kecepatan angin dengan rata-rata 2,97 m/s pada *outlet solar chimney* setiap material.



Gambar 5.17 Pengaruh material M1, M2, M3 pada ketinggian B17

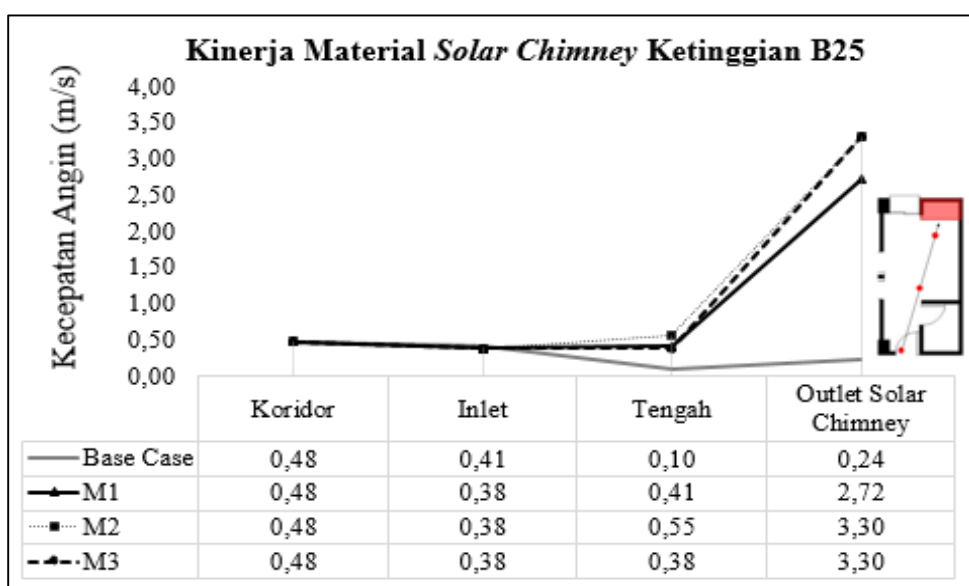
Tabel 5.7 Perubahan Kecepatan Angin ketinggian B17

Ketinggian (m)	Kecepatan Angin Koridor (m/s)	V Inlet (m/s)	ΔV (%)	V Tengah (m/s)	ΔV (%)	V Outlet Solar Chimney (m/s)	ΔV (%)
M1	0.48	0.41	-15%	0.4	-2%	2.72	580%
M2	0.48	0.48	0%	0.55	15%	2.91	429%
M3	0.48	0.38	-21%	0.55	45%	3.3	500%

Pada Tabel 5.7, menjelaskan tentang perubahan kecepatan angin pada ketinggian B17 yang dipengaruhi oleh material. material M1, perubahan kecepatan angin menurun 2 % dari kecepatan angin *inlet*. Material M2 mengalami peningkatan perubahan kecepatan angin 15 % pada ketinggian B8 dari *inlet* unit. Material M3 mengalami peningkatan perubahan kecepatan angin 45% dari kecepatan angin pada *inlet*.

5.3.3 Ketinggian B25

Pengaruh material pada ketinggian B25 dijelaskan dalam Gambar 5.18, pada gambar tersebut dapat dilihat peningkatan kecepatan angin ketiga material berada diatas kecepatan angin *base case*. Kecepatan tertinggi pada ruang tengah 0,47 m/s pada material M3. Sedangkan kecepatan angin terendah pada ketinggian B8, berada pada material M1, yaitu 0.38 m/s. Peningkatan kecepatan angin dengan rata-rata 3,23 m/s pada *outlet solar chimney* setiap material.



Gambar 5.18 Pengaruh material M1, M2, M3 pada ketinggian B25

Tabel 5.8 Perubahan Kecepatan Angin ketinggian B25

Ketinggian (m)	Kecepatan Angin Koridor (m/s)	V Inlet (m/s)	ΔV (%)	V Tengah (m/s)	ΔV (%)	V Outlet Solar Chimney (m/s)	ΔV (%)
M1	0.48	0.41	-15%	0.47	15%	2.91	519%
M2	0.48	0.48	0%	0.38	-21%	3.49	818%
M3	0.48	0.38	-21%	0.38	0%	3.3	768%

Pada Tabel 5.8, menjelaskan tentang perubahan kecepatan angin pada ketinggian B25 yang dipengaruhi oleh material. Material M1, mengalami peningkatan perubahan kecepatan angin 15% dari kecepatan angin *inlet*. Sedangkan material M2 mengalami penurunan perubahan kecepatan angin 21 % pada ketinggian B25 dari *inlet* unit. Material M3 pada ketinggian B25 tidak mengalami perubahan kecepatan angin dari kecepatan angin pada *inlet*.

5.4 Performa Solar Chimney

Material yang menghasilkan kecepatan angin dengan performa terbaik disarankan dalam penelitian, yaitu:

- Pengaplikasian *solar chimney* pada ketinggian B8 di sarankan menggunakan material M3, yang dapat menghasilkan kecepatan angin 0,47 m/s dengan perubahan 15 % peningkatan kecepatan angin dari *inlet* unit.
- Sedangkan pada ketinggian B17, disarankan menggunakan material kaca dengan kecepatan angin 0,55 m/s pada titik tengah dengan peningkatan perubahan kecepatan angin 15 % dari *inlet* unit.
- Pada ketinggian B25, disarankan menggunakan material kaca yang menghasilkan kecepatan angin 0,55 m/s dengan perubahan kecepatan angin 15 % dari *inlet* unit.

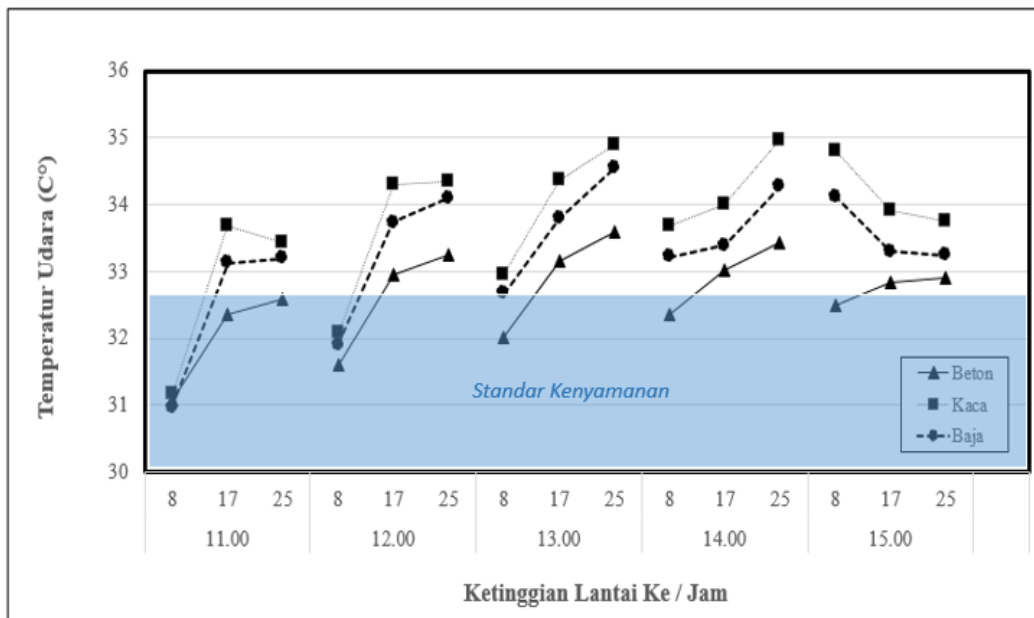
5.3 Temperatur Udara

Sujatmiko (2008) menyatakan bahwa daerah dengan iklim lokal yang rendah di Indonesia memiliki suhu netral yang rendah pula, demikian juga sebaliknya. Bangunan berpengondisi udara cenderung memiliki suhu netral lebih

rendah daripada bangunan yang tidak berpengondisi udara (berventilasi alami). Kinerja temperatur udara yang dipengaruhi oleh material *solar chimney* di dalam cerobong dijelaskan dalam Gambar 5.19, grafik menjelaskan hasil yang didapatkan setiap perwakilan lantai.

5.3.1 Temperatur di dalam Solar Chimney

Solar chimney kaca memiliki temperatur paling tinggi pada setiap jam dan ketinggian bangunan, disusul dengan material baja dan *solar chimney* beton yang memiliki suhu paling rendah. Material beton memiliki karakteristik termal lebih besar (lihat Tabel 2.8) dibandingkan material kaca dan baja. Sehingga pada jam 15.00 ketika radiasi matahari tidak intens menyinari *solar chimney* permukaan baja dan kaca akan turun lebih cepat, dengan selisih 0.7 untuk material baja, dan 0.8 untuk material beton. Minimal kinerja material beton dan baja 31.0°C, sedangkan maksimal temperatur udara didalam cerobong 35.3°C pada *solar chimney* kaca. Untuk rata-rata temperatur udara yang mendekati standar temperatur udara nyaman kota Surabaya pada 32.8°C *solar chimney* beton.



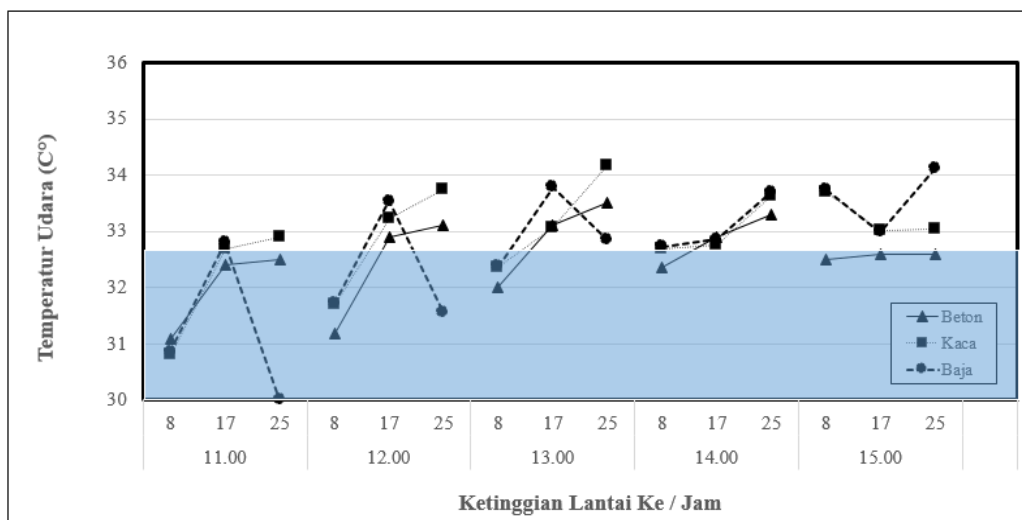
Gambar 5.19 Simulasi Temperatur Udara pada *Solar Chimney*

Material beton lama menyerap panas, dikarenakan konduktivitinya lebih rendah dibandingkan material lain McMullan (2007). Pada saat permukaan bidang sudah panas akan membutuhkan waktu lama untuk menurunkanya hal ini

dikarenakan beton memiliki karakteristik menyimpan panas yang dijelaskan pada grafik *solar chimney* kaca dan baja mengalami penurunan pada saat jam 15.00, sedangkan *solar chimney* beton mengalami peningkatan.

5.3.2 Temperatur di dalam Ruang Keluarga

Solar chimney kaca memiliki suhu yang terbilang stabil dimana pada setiap jam dan ketinggian lantai menempati posisi teratas dibandingkan dengan material lain. Hal ini diakibatkan karakteristik material kaca yang lebih cepat panas (lihat Tabel 2.8). Dalam grafik temperatur udara ruang keluarga, temperatur maksimal 34.6°C *solar chimney* beton, sedangkan temperatur minimal pada *solar chimney* baja. Dengan rata – rata suhu $32.8^{\circ}\text{C} - 33.0^{\circ}\text{C}$. dalam standar temperatur nyaman kota Surabaya, dari ketiga material, *solar chimney* beton yang mendekati angka maksimal kenyamanan pada 32.7°C . Dalam grafik (Gambar 5.20) juga dijelaskan perubahan signifikan pada lantai 8 dan 17, dimana pada jam 11.00, 12.00, dan 13.00 *solar chimney* baja mengalami peningkatan dengan selisih yang dijelaskan dalam Tabel 5.3.



Gambar 5.20 Simulasi Temperatur Udara pada Ruang Keluarga

Tabel 5.3 Selisih Hasil Simulasi Temperatur

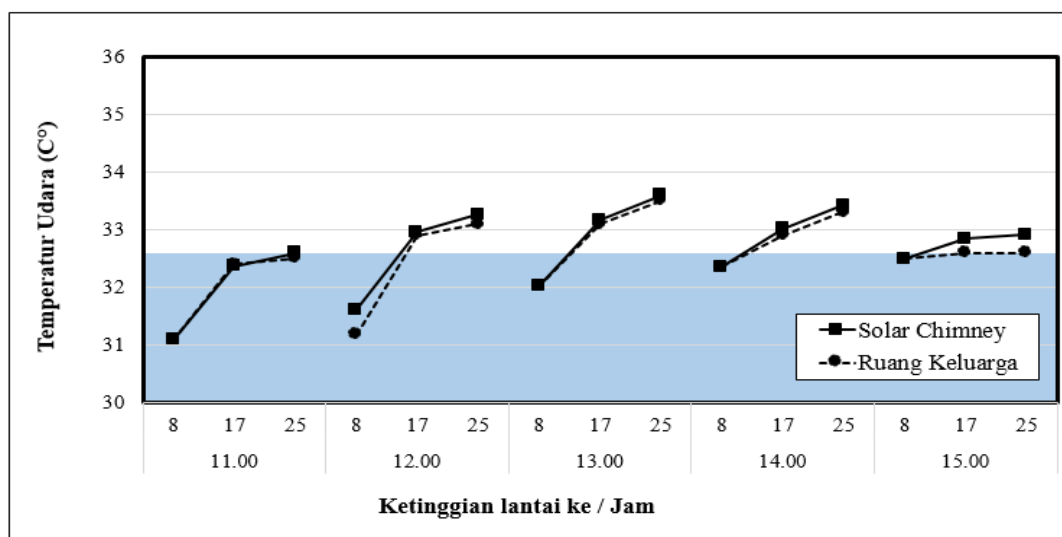
		Beton (W/m K)	Kaca (kg/m ³)	Baja (J/kg K)
Selisih	11.00	1.3	1.9	1.9
	12.00	1.7	1.5	1.8
	13.00	1.1	0.7	1.4

Pada grafik terdapat juga hasil yang fluktuatif, dimana *solar chimney* baja mengalami penurunan temperatur udara di lantai 25 pada jam 11.00, 30.0°C dan jam 12.00, 31.6 °C. Dimana penurunan tersebut berkisar antara 0.3 hingga 0.4. Adapun penurunan tertinggi berada pada material kaca dari pukul 12.00 hingga 13.00 yaitu terdapat penurunan sebesar 0.8.

5.3.3 Perbandingan Temperatur *solar chimney* pada Ruang Keluarga

1. Beton

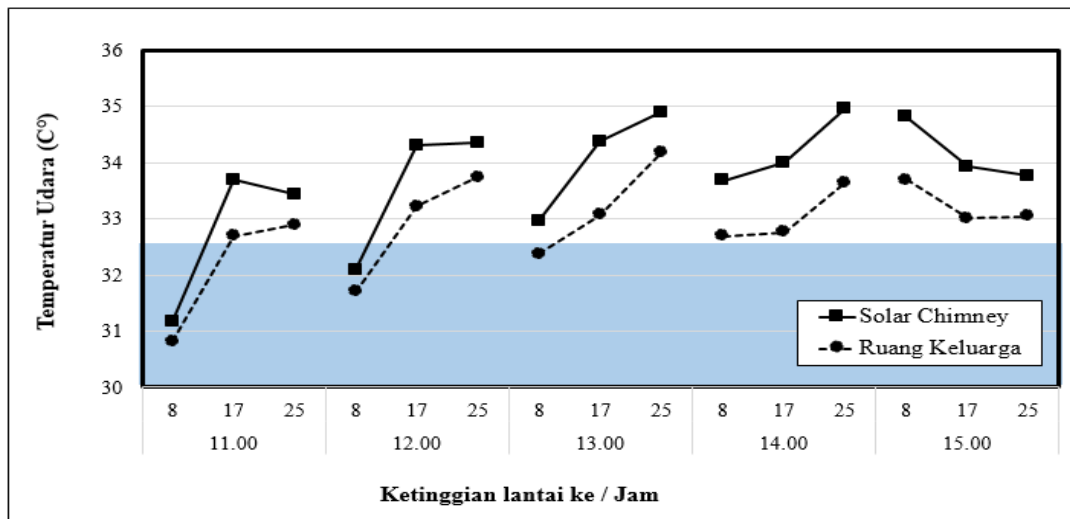
Pada Gambar 5.21 grafik perbedaan suhu udara yang dihasilkan didalam cerobong dan ruang keluarga memiliki temperatur yang hampir sama, dengan rata-rata 32.8°C dimana suhu tersebut mendekati standar atas kenyamanan di kota Surabaya 32.7°C. *Solar chimney* beton mengalami peningkatan suhu pada setiap lantai dan ketinggian, namun jika dilihat dalam grafik pada lantai 25, setiap jam selalu mengalami peningkatan suhu udara terkhusus pada jam 14.00, dan 15.00 dengan selisih 0.5-1.3°C. *Solar chimney* beton berpengaruh pada ketinggian bangunan, semakin tinggi lantai bangunan semakin meningkat pula suhu ruangan, hanya saja perbedaan yang dihasilkan tidak signifikan karena selisih perbedaan suhu 0.1 -0.3°C.



Gambar 5.21 Simulasi *Solar Chimney* Beton

2. Kaca

Material kaca memiliki kemampuan menyerap panas 840 k, hal tersebut mengakibatkan kondisi suhu cerobong lebih panas dibandingkan suhu udara didalam ruang keluarga. Dengan suhu maksimal 34.3°C pada ruang keluarga dan 35.3°C pada suhu didalam cerobong dengan permukaan material kaca (Gambar 5.22). Dalam standar kenyamanan suhu udara kota Surabaya di lantai 7 dan 8 pada jam 11.00, 12.00, 13.00 dan 14.00 kondisi temperatur udara memasuki standar dengan rentang 30.8 – 32.7°C dimana angka tersebut masuk dalam standar nyaman. Pada grafik juga bisa dilihat perubahan temperatur permukaan *solar chimney* kaca, dimana saat matahari intrns pada jam 11.00 sampai jam 14.00 material menyerap panas mencapai 35.3°C di lantai 30 sedangkan saat matahari tidak lagi intens menyinari permukaan cerobong, permukaan material kaca melepas panas lebih cepat 34°C pada ketinggian lantai yang sama di jam yang berbeda.

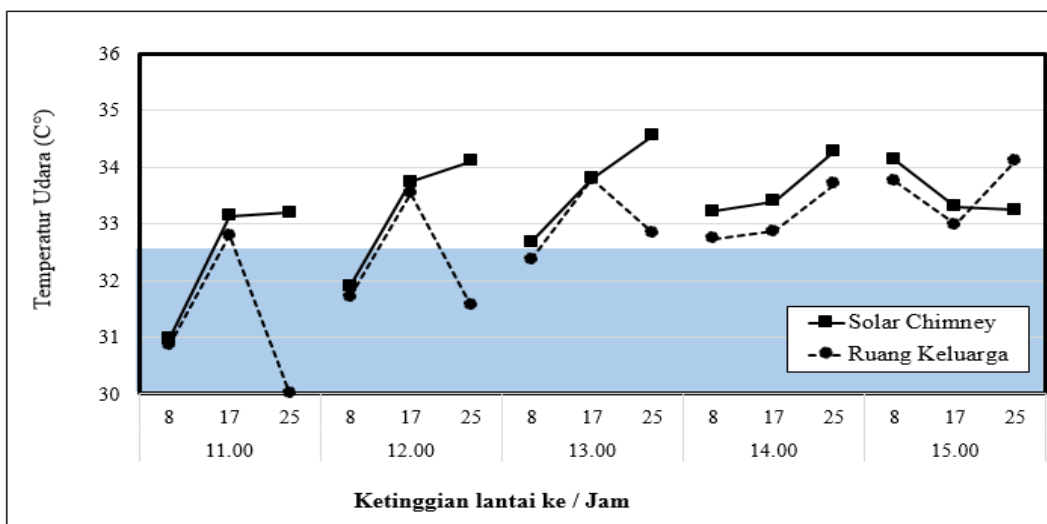


Gambar 5.22 Simulasi *Solar Chimney* Kaca

3. Baja

Solar chimney baja memiliki kemampuan menyerap panas 480 J/kg, dimana angka tersebut lebih rendah dibandingkan dua material sebelumnya. Dalam perbandingan pada Gambar 5.23, grafik hasil menampilkan suhu udara pada *solar*

chimny lebih besar dibandingkan dengan suhu udara pada ruang keluarga, dimana *solar chimney* memiliki temperatur rata-rata 33.4°C dan ruang keluarga 32.9°C, dengan selisih 0.5m/s.



Gambar 5.23 Simulasi *Solar Chimney* Baja

Hasil dari perbandingan antara ketiga material tersebut:

1. Pada setiap ketinggian lantai *solar chimney* beton bekerja lebih optimal dikarenakan temperatur udara 32.8°C mendekati standar kenyamanan termal kota surabaya.
2. Ketinggian lantai bangunan mempengaruhi suhu didalam ruang keluarga, pada saat matahari intens menyinari permukaan cerobong semakin tinggi lantai bangunan semakin besar pula temperatur yang terjadi.

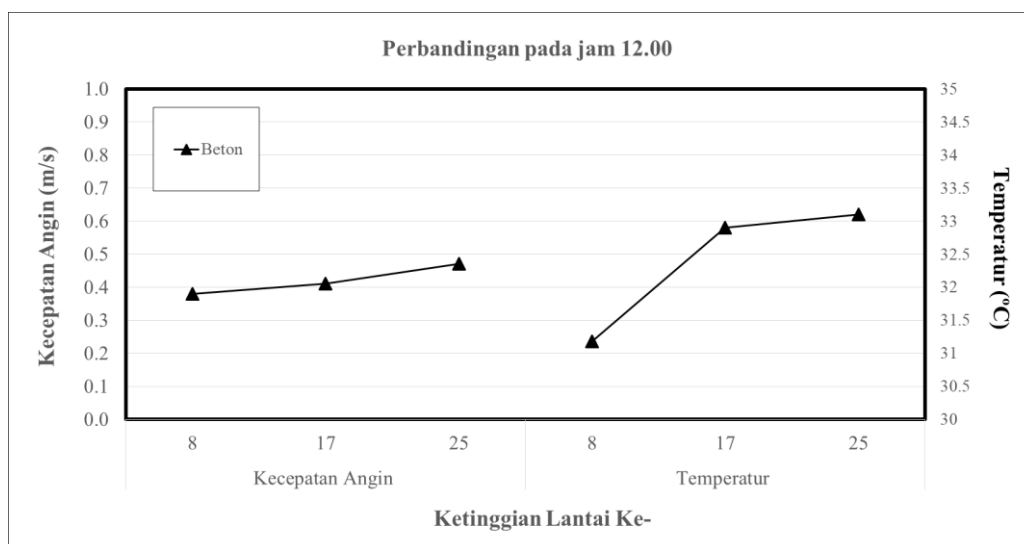
5.7 Perbandingan Kecepatan Angin dan Temperatur

Perbandingan antara *solar chimney* dan temperatur pada jam 12.00 dijelaskan sebagai berikut:

1. Beton

Kinerja *solar chimney* material beton menghasilkan aliran angin 0.38 m/s dengan temperatur ruang 31 °C, kemudian aliran angin pada kinerja *solar chimney* dengan material tersebut mengalami peningkatan pada lantai 25 dengan temperatur 35 °C yang menghasilkan kecepatan angin 0.47 m/s. Berbeda dengan hal tersebut, pada ketinggian B8, kecepatan angin *solar chimney* dengan material beton memiliki

kecepatan angin 0.40 m/s, dengan hasil temperatur pada ketinggian tersebut adalah sebesar 31°C. Menurut Szkolay (1987) nilai kecepatan angin 0.40 m/s termasuk dalam kategori angin nyaman. Terkait dengan hal tersebut, Gambar 5.24 menjelaskan bahwasanya kecepatan angin pada ketinggian B17 memiliki nilai sebesar 0.40 m/s dengan temperatur 33°C. Berbeda dengan hal tersebut, hasil kecepatan angin pada ketinggian B25 menunjukkan nilai sebesar 0.48 m/s, dengan hasil temperatur sebesar 33°C. Identifikasi tersebut menunjukkan hasil kecepatan angin dan temperatur pada *solar chimney* dengan material beton memiliki temperatur terendah dengan nilai 31° C pada ketinggian B8 dengan kecepatan angin sebesar 0.4 m/s.

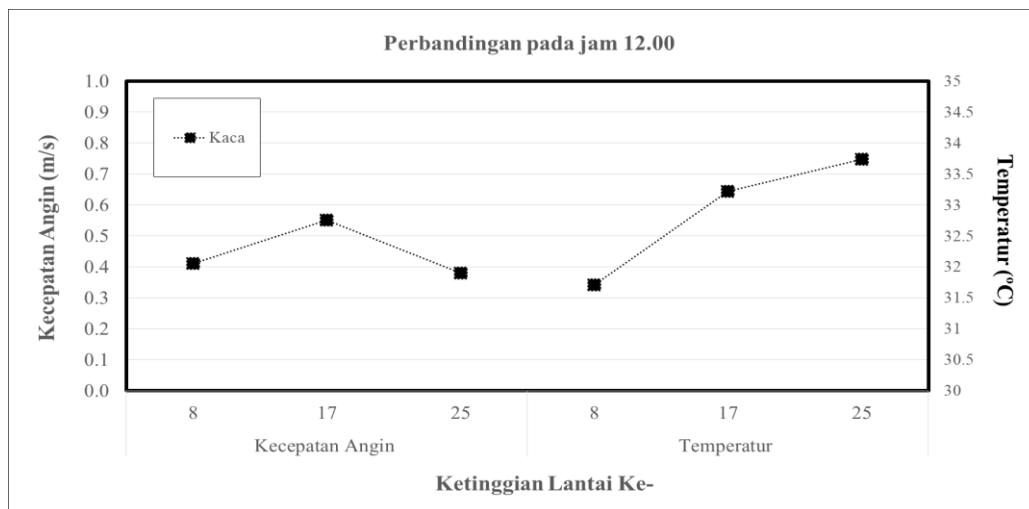


Gambar 5.24 Simulasi Perbandingan Kecepatan Angin dan Temperatur *Solar Chimney* Beton

2. Kaca

Kinerja *solar chimney* yang memiliki material kaca menghasilkan aliran angin 0.41m/s pada lantai B8 dengan temperatur 31,5°C, mengalami peningkatan 0.55 m/s pada ketinggian B17 dengan temperatur unit 34°C, kecepatan angin menurun pada lantai B25 sebesar 0.40 m/s namun mengalami peningkatan temperatur 33.5°C. Hasil identifikasi dari *solar chimney* dengan material kaca (Gambar 5.25), ketinggian bangunan mempengaruhi temperatur dimulai dari ketinggian B8 sampai pada ketinggian B25. Peningkatan temperatur yang diakibatkan oleh material kaca tidak mempengaruhi kecepatan angin, hal tersebut

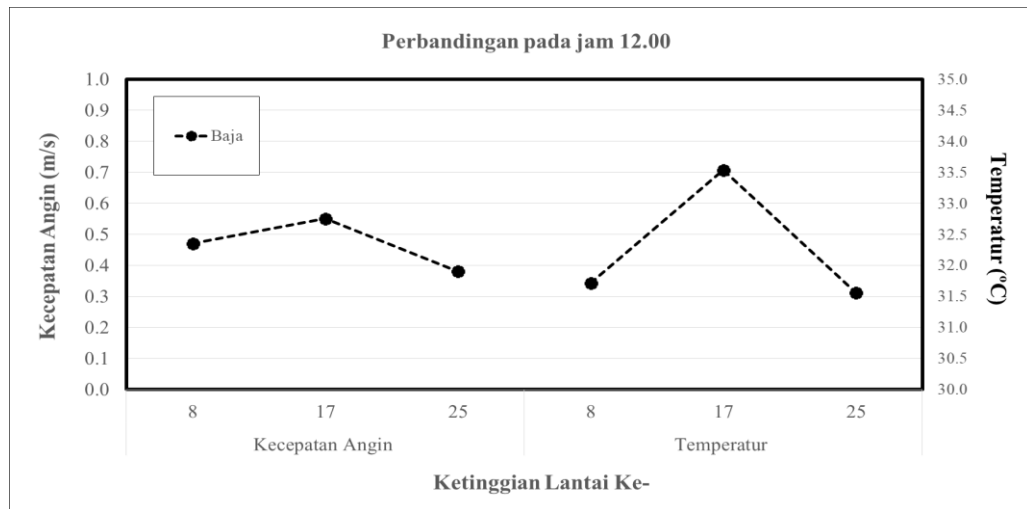
didasarkan pada hasil simulasi yang memperlihatkan terjadinya penurunan kecepatan angin pada ketinggian B8 dan B2. Terkait dengan hal tersebut, adapun peningkatan kecepatan angin hanya terjadi pada ketinggian B17 dengan peningkatan kecepatan angin sebesar 0.2 m/s.



Gambar 5.25 Simulasi Perbandingan Kecepatan Angin dan Temperatur *Solar Chimney Kaca*

3. Baja

Kinerja *solar chimney* yang memiliki material baja menghasilkan aliran angin 0.47 m/s dengan temperatur ruang 32°C pada ketinggian B8. Adapun pada ketinggian B17, terdapat peningkatan kecepatan angin sebesar 0.05 m/s serta peningkatan temperatur sebesar 1.5°C. pada ketinggian B25, kecepatan angin memiliki nilai sebesar 0.40 m/s, hal ini menunjukkan terjadinya penurunan kecepatan angin sebesar 0.20 m/s dengan temperatur 31.5°C. Hasil identifikasi dari Gambar 5.26, pada saat kecepatan angin meningkat kinerja material baja mengakibatkan temperatur pun meningkat, sedangkan pada saat kecepatan angin menurun, kondisi temperatur didalam ruang turut menurun, hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi yang menunjukkan terjadinya penurunan pada ketinggian B8 dan B25.



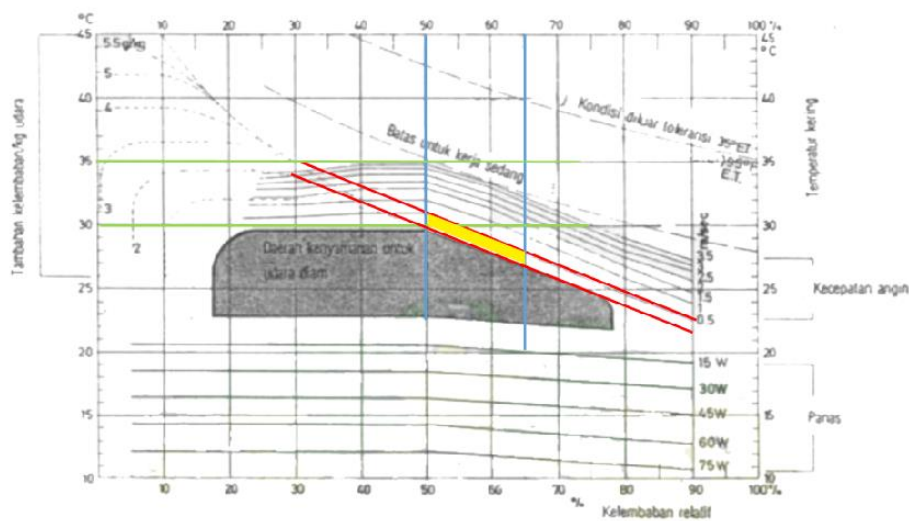
Gambar 5.26 Grafik hasil simulasi perbandingan kecepatan angin dan temperatur *solar chimney* baja

Suhu netral di Surabaya (Alfata, dkk 2014) adalah T_o 30,5°C dengan rentang suhu nyaman T_o 28,3–32,7°C, dengan hasil rata- temperatur udara yang dihasilkan *solar chimney* pada ruang keluarga menandakan kondisi ruang keluarga masuk dalam standar maksimal suhu nyaman kota Surabaya 33.4 °C.

Tabel 5.4 Hasil Simulasi Temperatur

	Beton (W/m K) (°C)	Kaca (kg/m ³) (°C)	Baja (J/kg K) (°C)
<i>Solar Chimney</i>			
Max	34.1	35.3	34.6
Min	31.0	31.2	31.0
Rata-rata	32.8	33.8	33.4
Ruang Keluarga			
Max	34.1	34.3	34.6
Min	31.0	30.8	30.0
AVG	32.8	33.0	32.9

Sedangkan jika dibandingkan dengan hasil dan temperatur nyaman menurut skala Bedford adalah T_o 29,4°C dengan rentang suhu nyaman skala Bedford adalah T_o 27,2°C–31,7°C. Hasil yang simulasi *design builder* penelitian ini dijelaskan dalam Tabel 5.4. hasil tersebut mengidentifikasi jika kondisi temperatur unit bedara di atas standar seperti yang dijelaskan dalam gambar 5.27.



Keterangan:

- Temperatur
- Kelembaban
- Kecepatan Angin
- Zona hasil Penelitian

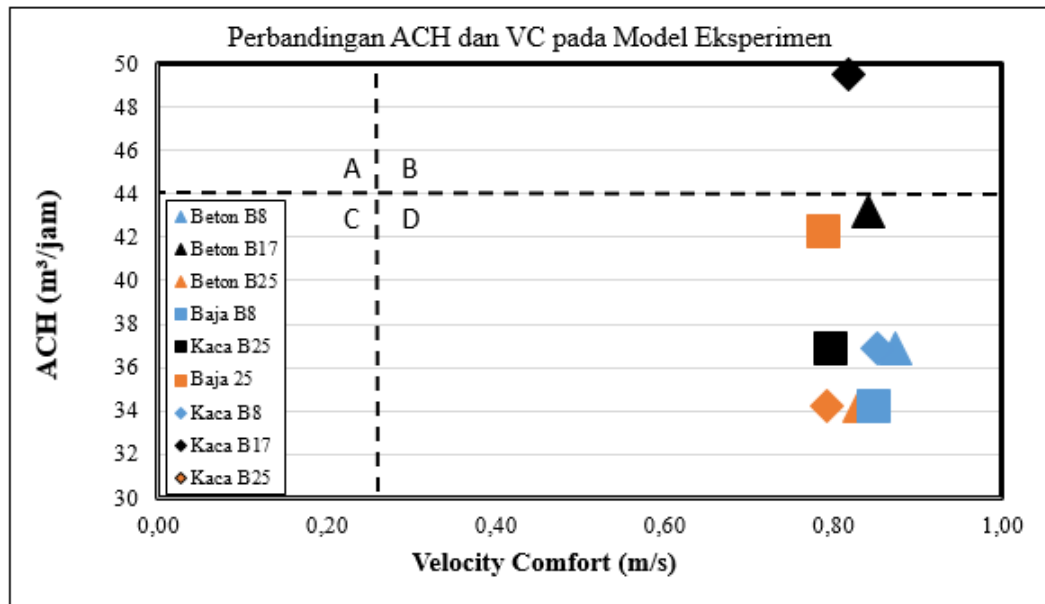
Gambar 5.27 Rentang suhu nyaman hasil penelitian

Lippsmeir (1997) menyatakan bahwa patokan untuk kecepatan angin ialah: 0.25 m/s ialah nyaman, gerakan udara terasa; 1.0 – 1.5 m/s aliran udara ringan sampai tidak menyenangkan; diatas 1.5 m/s tidak menyenangkan. Menambahkan hasil tersebut, perbandingan antara VC dan ACH zona penelitian yang dipengaruhi oleh material dan ketinggian dijelaskan dalam diagram *gradian* pada Gambar 5.28.

Pengaplikasian *solar chimney* pada bangunan apartemen *high-rise* tidak terlalu efektif. Hal tersebut diakibatkan hasil perbandingan ACH dan VC (Tabel 5.4) menjelaskan bahwa pada setiap ketinggian, material M1, M2, dan M3 sudah memenuhi standar ACH, namun hanya model M1 pada ketinggian B17 yang masuk dalam kuadran B dijelaskan dalam Gambar 2.8.

Tabel 5.4 Hasil Simulasi Temperatur

Ketinggian Lantai	Beton (M1)		Kaca (M2)		Baja (M3)	
	ACH (m ³ /menit/orang)	Vc (m/s)	ACH (m ³ /menit/orang)	Vc (m/s)	ACH (m ³ /menit/orang)	Vc (m/s)
B8	34.2	0.28	36.9	0.31	36.9	0.32
B17	36.9	0.09	42.2	0.08	49.5	0.05
B25	42.3	0.06	34.2	0.02	34.2	0.03



Gambar 5.28 Hasil *gradien* ACH dan VC pada unit

Klasifikasi penilaian pada masing-masing kotak dijelaskan sebagai berikut;

- Kuadran A; nilai kecepatan untuk penyejukan fisiologis tidak terpenuhi, namun memenuhi nilai standar ACH Q-debit udara segar yang dibutuhkan. Tidak terdapat model eksperimen pada kuadran A.
- Kuadran B; nilai ACH Q-debit udara segar dan kecepatan untuk penyejukan fisiologis terpenuhi. Kondisi ini merupakan kondisi optimal. Terdapat model kaca (M3) pada ketinggian B17 yang memenuhi kriteria kondisi optimal.
- Kuadran C; tidak dapat memenuhi nilai ACH Q-debit udara segar dan kecepatan angin untuk penyejukan fisiologis.
- Kuadran D; nilai kecepatan untuk penyejukan fisiologis terpenuhi, namun tidak pada ACH nilai Q-debit udara segar. Semua model, selain M3B17 masuk dalam kategori kuadran D.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Solar chimney dengan tipe konfigurasi terbuka dapat diaplikasikan pada bangunan apartemen di Surabaya, dengan tiga kelompok ketinggian bangunan, kelompok 36 m, 63 m dan 87 m. Hasil penelitian menunjukkan, semua material sudah memenuhi standar VC dan ACH dengan kondisi optimal.

6.1.1 Pengaruh Kinerja *Solar chimney* Terhadap Ketinggian Bangunan

Semakin tinggi lantai maka akan semakin tinggi pula kecepatan angin *outdoor* (V_o) di sekitar bangunan. Pada saat mengaplikasikan material beton dan kaca, kecepatan angin pada *solar chimney* meningkat di ketinggian 87 m. Sedangkan pada saat mengaplikasikan *solar chimney* baja, kecepatan angin tertinggi berada pada ketinggian 63 m. Hal tersebut mengidentifikasikan kalau kinerja material beton dan kaca mempengaruhi kecepatan angin pada ketinggian maksimum.

Pada ketinggian maksimum yaitu 87 m kecepatan angin *outdoor* lebih besar, namun pada saat pengaplikasian *solar chimney* kecepatan angin *indoor* (V_i) menjadi menurun. Pada ketinggian minimum, yaitu 36m. Kecepatan angin *outdoor* yang masuk kedalam bangunan lebih kecil, namun saat diaplikasikan *solar chimney* hasil kecepatan angin *indoor* menjadi lebih besar. Kenaikan kecepatan angin pada *solar chimney* tidak berbanding lurus dengan kenaikan kecepatan angin didalam unit.

6.1.2 Pengaruh Material *Solar chimney*

Pada ketinggian 36 m, kecepatan angin *indoor* tertinggi didapatkan dengan mengaplikasikan *solar chimney* baja. Sedangkan pada ketinggian 63 m, dan 87 m kinerja material kaca lebih baik dibandingkan dengan material lain. Pada pukul 12.00 temperatur pada setiap ketinggian lantai memiliki rata-rata (T_i) antara 30-34°C. Material Baja memiliki kemampuan menyerap panas lebih tinggi dibandingkan material lain. Pada ketinggian 36 m, kecepatan angin mengalami

peningkatan 666% antara *inlet* dan *outlet*, setara dengan 6,6 m/s. Material baja memiliki *specific heat* yang rendah diantara material yang lain (lihat Tabel 2.8). sedangkan perubahan kecepatan angin terendah terdapat pada material kaca sebesar 467%, setara dengan 4,7 m/s pada ketinggian 36 m. Kinerja material kaca lebih optimal pada saat berada pada ketinggian 87 m, hal tersebut diakibatkan oleh sifat kaca yang transparan, memantulkan dan menyerap seperti dalam penelitian Lee, dkk (2015). Menurut Taylor (2002), beton merupakan material yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi, namun menurut McMullan (2007), (lihat Tabel 2.8) konduktivitas material beton adalah 0.380. Dalam penelitian ini, material beton menghasilkan perubahan kecepatan angin 610% antara *inlet* dan *outlet*, setara dengan 6,1 m/s pada ketinggian 36 m. hal tersebut dikarenakan karakteristik beton yang memiliki *specific heat* lebih tinggi dari material lain.

6.1.3 Pengaruh *Solar chimney* terhadap Kenyamanan Termal

Hasil penelitian menunjukkan pada semua ketinggian yang diuji (36 m, 63 m, dan 87 m) kinerja kecepatan angin pada *solar chimney* sudah memenuhi standar VC dan ACH kota Surabaya. Material baja menghasilkan kecepatan angin 0.47 m/s dengan temperatur ruang 31,5°C. Di ketinggian yang sama, material beton dan kaca menghasilkan kecepatan angin yang sama yaitu 0,41 m/s dengan temperatur 31°C. Pada ketinggian 36 m, *solar chimney* menghasilkan peningkatan rata-rata perubahan kecepatan angin 486% jika dibandingkan dengan sebelum menggunakan *solar chimney*.

6.1.4 Strategi Desain

Pengaplikasian sistem penghawaan pasif pada unit apartemen menjadi tidak efektif dikarenakan sistem sirkulasi *double-loaded* yang menjadikan unit apartemen hanya memiliki bukaan satu sisi. Penghawaan silang adalah sistem penghawaan yang efektif pada bangunan, namun dikarenakan sistem tersebut tidak dapat diaplikasikan pada bangunan *high-rise*, maka *stack effect* disarankan untuk menjadi alternatif. Kondisi iklim tropis yang memiliki temperatur tinggi, kelembapan tinggi dan kecepatan angin yang rendah memungkinkan

mengaplikasikan *stack effect* dalam bentuk *solar chimney* untuk mengeluarkan udara panas dari dalam unit. Sistem kerja *solar chimney* adalah dengan membuat perbedaan temperatur antara *indoor* dan *outdoor*, namun kondisi temperatur *indoor* dan *outdoor* pada objek penelitian memiliki perbedaan yang sangat kecil. Dari hasil studi literatur, untuk membuat perbedaan temperatur adalah dengan mengganti satu bidang material *solar chimney*, dengan memperhatikan karakteristik termal material yang digunakan, seperti; beton, kaca, dan baja.

Strategi desain penelitian yang disarankan untuk menjadi alternatif penghawaan pasif unit apartemen dengan mengaplikasikan *solar chimney* pada unit apartemen di Surabaya;

- *Solar chimney* dapat diaplikasikan pada bangunan *high-rise*. Namun untuk mendapatkan perbedaan temperatur lebih cepat di dalam cerobong maka perlu mempertimbangkan material permukaan bidang *solar chimney*. Disarankan mengaplikasikan *solar chimney* dengan material baja pada ketinggian bangunan 36 m. sedangkan pada ketinggian 87 m, disarankan mengaplikasikan material kaca.
- Material beton, kaca dan baja dapat diaplikasikan menjadi bahan permukaan *solar chimney*, dikarenakan hasil simulasi penelitian ini menyebutkan jika ketiga material tersebut memenuhi standar VC dan ACH.

6.3 Saran

Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut tentang bagaimana pengaruh material, dan ketinggian ketinggian bangunan yang di bandingkan dengan dimensi *inlet* dan *outlet*. Serta melihat pengaruh material, dan ketinggian yang di bandingkan dengan dimensi *solar chimney*. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan variasi alternatif penghawaan pasif di unit apartemen.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfata, M. N. F., Hirata, N., Kubota, T., Nugroho, A., Uno, T., Ekasiwi, S. N., dan Antaryama, I. G. N. (2015). "Field investigation of *indoor* thermal environments in apartments of Surabaya, Indonesia: Potential passive cooling strategies for middle-class apartments" *Energy Procedia*, Vol. 78, Hal. 2947-2952.
- Amin, M. N. (2016), "Analisis penggunaan wind tower dan *solar chimney* sebagai solusi penghawaan alami di Daerah Istimewa Yogyakarta", *Inersia*, hal. 44 – 45.
- Awbi, H. B. (2003), *Ventilation of Building*, Spon Press, London.
- Aynsley R. M., Melbourne W., dan Vicery B. J. (1977), *Architecture aerodynamics*, Hal. 183-193.
- Bansal, N. K., Mathur, R., dan Bhandari, M. S. (1994). "A study of *solar chimney* assisted wind tower system for natural ventilation in buildings," *Building and Environment*, Vol. 29, No. 4, Hal. 495-500.
- Baxevanou, C. dan Fidaros, D. (2017), "Numerical Study of *Solar Chimney* Operation in a Two-Story Building," *Procedia environmental sciences*, Vol. 38, Hal. 68-76.
- Cheng, X., Shi, L., Dai, P., Zhang, G., Yang, H., Dan Li, J. (2018), "Study on optimizing the design of *solar chimney* for natural ventilation and smoke exhaustion," *Energy and Buildings*, Vol. 170, Hal. 145-156.
- Elshaer, A., Bitsuamlak, G., dan El Damatty, A. (2017), "Enhancing wind performance of tall buildings using corner aerodynamic optimization", *Engineering Structures*, 136, 133-148.
- Fahmi, M. R., Defiana I., dan Antaryama I. G. N. (2017), "Cross Ventilation in *High-Rise* Apartment Building: *Effect* of Ventilation Shaft Aperture Configuration on Air Velocity and Air Flow Distribution", *Science and Technology*, hal 65 – 68.
- Febrita, Y. (2011), "Ventilasi *Solar Chimney* Sebagai Alternatif Desain Passive Cooling Di Iklim Tropis Lembab". *Jurnal Arsitektur*, Vol. 3, No. 1.

- Groat, L. N., dan Wang, D. (2013), *Architectural research methods*. 3rd Edition, John Wiley & Sons, hal. 213-349.
- Gratia, E., dan De Herde, A. (2004), “Is day natural ventilation still possible in office buildings with a double-skin façade?” *Building and Environment*, Vol. 39 No. 4, hal. 399-409.
- Hasan, M. H., Mahlia, T. M. I., dan Nur, H. (2012), “A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 4, hal. 2316-2328.
- Hopkin, D. (2017), “A Review of Resistance Expectations for *High-Rise* UK Apartemen Building,” *Springer Link*, Vol. 53, No. 1, hal. 87-106.
- Hunt, J. D., Stilphen, D., dan de Freitas, M. A. V. (2018), “A review of the causes, impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 88, hal. 208-222.
- Jang, H. dan Kang, J. (2018), “An energy model of *high-rise* apartment buildings integrating variation in energy consumption between individual units” *Energy and Buildings*, Vol. 158, hal. 656-667.
- Krisnanto, E., Surahman, U., Maknun, J., dan Afifah, V. (2018), “The Analysis of Household Energy Consumption of Public Apartemen in Indonesia: A Case Study of Rusunawa Buildings in Bandung City”, *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 13, No. 7, hal. 1926-1938.
- Lee, D. S., Hung, T. C., Lin, J. R., dan Zhao, J. (2015), “Experimental investigations on *solar chimney* for optimal heat collection to be utilized in organic Rankine cycle” *Applied energy*, Vol.154, hal. 651-662.
- Liu, Z. B., dan Su, Y. X. (2012), “An Unsteady Model for Natural Ventilation with *Solar Chimney*” In *Advanced Materials Research*(Vol. 354, hal. 286-289.
- Liddament, M. W. (1992). “The role and application of ventilation *effectiveness* in design”. In *Proceeding of the international symposium on room air convection and ventilation effectiveness*, University of Tokyo hal. 59-75.
- Lumakso, C. A., Setiawan, A. P., dan Santoso, Y. (2016), “Perancangan Meja Multifungsi untuk Mahasiswa Desain Interior di Apartemen Tipe Studio”, *Jurnal Intra*, Vol. 4, No. 2, hal. 585-597.

- Macias, M., Mateo, A., Schuler, M., dan Mitre, E. M. (2006), "Application of night cooling concept to social housing design in dry hot climate". *Energy and Buildings*, Vol. 38, No. 9, hal.1104-1110.
- Mikola, A., Kalamees, T., dan Kõiv, T. A. (2017), "Performance of ventilation in Estonian apartment buildings" *Energy Procedia*, Vol. 132, hal. 963-968.
- Mooneghi, M. A., dan Kargarmoakhar, R. (2016), "Aerodynamic mitigation and shape optimization of buildings", *Journal of Building Engineering*, Vol. 6, hal. 225-235.
- Moore, F. dan McGraw-Hill, (1993), *Environmental control systems: Heating, cooling, lighting*, Architecture and Urban Planning Series., New York. hal. 184-187.
- Monghasemi, N., dan Vadiie, A. (2017), "A review of solar chimney integrated systems for space heating and cooling application" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 81, No. 2, hal. 2714-2730.
- Murakami, S. (1992). "New Scales for Ventilation Efficiency and Their Application Based on Numerical Simulation of Room Airflow". *ISRACVE University of Tokyo*, 22-37.
- Omrani, S., Garcia-Hansen, V., Capra, B., dan Drogemuller, R. (2017), "Natural ventilation in multi-story buildings: Design process and review of evaluation tools", *Building and Environment*, Vol. 116, hal. 182-194.
- Papakonstantinou, K. A., Kiranoudis, C. T., dan Markatos, N. C. (2000), "Numerical simulation of airflow field in single-sided ventilated buildings" *Energy and Buildings*, Vol. 33, No.1, hal. 41-48.
- Puspasari, D., Indrani, H. C., dan Mulyono, H. (2017), "Perencanaan Walk-In Closet pada Apartemen Tipe Studio untuk Wanita Karir Lajang", *Jurnal Intra*, Vol. 5, No. 2, hal. 296-303.
- Rattanongphisat, W., Imkong, P., dan Khunkong, S. (2017), "An Experimental Investigation on the Square Steel Solar Chimney for Building Ventilation Application", *Energy Procedia*, Val. 138, hal.1165-1170.
- Revuz, J., Hargreaves, D. M., dan Owen, J. S. (2012), "On the domain size for the steady-state CFD modeling of a tall building", *Wind and structures*, Vol, 15, No. 4, hal. 313.

- Roberts, B. M. (1997), *The quest for comfort*. Chartered Institute of Building Services Engineers.
- Samodra, FX.T.B.S. (2016). Proposal for thermal and noise environment improvement of the traditional house in Indonesia. Busan. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy, Pusan National University.
- Satwiko, P. (1994), "*Simulasi Perilaku Aerodinamika dan Termal Bangunan dengan Program Computational Fluid Dynamics (CFD)*"
- Shi, L., Zhang, G., Yang, W., Huang, D., Cheng, X., dan Setunge, S. (2018), "Determining the influencing factors on the performance of *solar chimney* in buildings," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 88, hal. 223-238.
- Smith, P. (1967). *Apartments: their design and development*. Reinhold Pub. Co.
- Surahman, U., Kubota, T., dan Higashi, O. (2015), "Life cycle assessment of energy and CO2 emissions for residential buildings in Jakarta and Bandung, Indonesia", *Buildings*, Vol. 5, No. 4, hal. 1131-1155.
- Szokolay, S.V. (1987), "*Thermal Design of Building*", RAIA Education Division, Australia.
- Wong, P. C., Prasad, D., dan Behnia, M. (2008), "A new type of double-skin façade configuration for the hot and humid climate", *Energy and Buildings*, Vol. 40, No. 10, hal. 1941-1945.
- Wood, A., dan Salib, R. (2012), "Guide to Natural Ventilation in *High Rise Office Buildings*" *Routledge*.
- Zhai, X. Q., Song, Z. P., dan Wang, R. Z. (2011), "A review for the applications of *solar chimneys* in buildings", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, No. 8, hal. 3757-3767.
- Zha, X., Zhang, J., dan Qin, M. (2017), "Experimental and Numerical Studies of *Solar Chimney* for Ventilation in Low Energy Buildings", *Procedia Engineering*, Vol. 205, hal. 1612-1619.

LAMPIRAN 1

POPULASI APARTEMEN

1. Populasi Apartemen di Surabaya

No	Apartemen	Jumlah Tower	Jumlah Lantai	Jumlah Unit	Type Unit	
1.	Ascott Waterplace Surabaya (2008)	7	38	2400	1 BR Deluxe	40 m ²
					1 BR Executive	100 m ²
					2 BR Deluxe	90 m ²
					2 BR Executive	100 m ²
					3 BR Executive	113 m ²
					Penthouse	112 m ²
2.	Gunawangsa Manyar (2012)	1	25	170	1 BR	18 m ²
					2 BR	30 m ²
					3 BR	49 m ²
3.	Puncak Dharmahusada	-	39	3000		
4.	Puncak Permai (2014)	3	20	5000	Studio	25 m ²
					2 BR	30 m ²
					3 BR A	36 m ²
					3 BR B	36 m ²
5.	Puncak Kertajaya (2013)	-	20	2008	1 BR	-
					2 BR	-
6.	One Icon Residence	-	45	280	2 BR	96 m ²
					3 BR	150m ²
7.	Grand Sungkono Lagoon	-	34	1021	-	-
8.	Puncak CBD Surabaya	-	32	1472	-	-
9.	Puncak Bukit Golf (2014)	-	30	2000	-	-

No	Apartemen	Jumlah Tower	Jumlah Lantai	Jumlah Unit	Type Unit	
10.	East Coast	-	16	792	-	-
11.	City of Tomorrow (2010)	-	40	246	-	-
12.	Taman Beverly (1996)	-	32	200	-	-
13.	Metropolis (2006)	-	20	936	Studio	24 m ²
					1 BR	34 m ²
					2 BR	49 m ²
					3 BR	74 m ²
14.	Aryaduta Residences Surabaya (2014)	-	40	246	1	42 m ²
					2	74 m ²
					3	100 m ²
15.	Trillium (2010)	-	32	320	2 BR	71 m ²
					3 BR	103 m ²
					3 BR +3	151 m ²
16.	Cosmopolis Residence (2009)	-	6	180	Studio	29 m ²
					Deluxe	30 m ²
					1 BR	42 m ²
					2 BR	66 m ²
					3 BR	98 m ²
17.	88 Avenue Overview	-	32	600	-	-
18.	One East Residence Overview	-	30	287	-	-
19.	Puncak Marina Surabaya (2013)	-	20	700	1 BR Standard	85 m ²
					1 BR Suite	96 m ²
					1 BR Club	96 m ²
					2 BR Standard	96 m ²
					3 BR Standard	105 m ²
20.	Educity	Harvard	33	3528	Studio	21 m ²
		Stanford			1 BR	-
		Yale			2 BR	46 m ²
		Princeton				

No	Apartemen	Jumlah Tower	Jumlah Lantai	Jumlah Unit	Type Unit	
21.	Apartemen Somerset Residence (2011)	-	25	178	1 BR Deluxe	63 m ²
					2 BR Deluxe	98 m ²
					2 BR Executive	110 m ²
					2 BR Premier	139 m ²
					3 BR Deluxe	139 m ²
22.	Puri Darmo Serviced (2012)	-	8	72	1 BR Superior	90 m ²
					2 BR Deluxe	165 m ²
					3 BR Deluxe	200 m ²
					3 BR Penthouse	220 m ²
					4 BR Penthouse	300 m ²
					4 BR Presidential	380 m ²
23.	Graha Residen Serviced (2012)	-	2	151	1 BR	96 m ²
					2 BR	111 m ²
					2 BR A	144 m ²
					3 BR	188 m ²
24.	Gunawangsa Merr	2	29	1200	-	-
25.	Orchard Mansion (2014)	-	40	940	Studio	25 m ²
					2 BR	49 m ²
					3 BR	79 m ²
26.	Tanglin Mansion (2014)	-	40	940	Studio	25 m ²
					2 BR	38 m ²
					3 BR	66 m ²
27.	The Ritz Mansion	3	20	32	1 BR	39 m ²
					2 BR	83 m ²
					3 BR	178 m ²
28.	Sumatra 36 (2013)	-	12	63	2 BR	-
					3 BR	-
29.	Marvel City	-	32	1200	1 BR	37 m ²

No	Apartemen	Jumlah Tower	Jumlah Lantai	Jumlah Unit	Type Unit	
					1 BR	40 m ²
					2 BR	64 m ²
					3 BR	85 m ²
30.	The City Square	2	35	400	1 BR	21 m ²
					1 BR +	25 m ²
					2 BR	32 m ²
					2 BR +	33 m ²
31.	My Tower	2	27	1200	-	-
32.	The Samator	-	21	170	Ambassador	-
33.	Royal Mutiara Residence	-	5	2500	Studio	35 m ²
34.	De Papilio Tamansari	-	33	676	Studio	17 m ²
					2 BR	36 m ²
35.	Grand Dharmahusada Lagoon	7	52	400	-	-
36.	Pavilion Permata (2013)	2	16	507	1 BR	23 m ²
					1 BR Plus	25 m ²
					1 BR Deluxe	27 m ²
					2 BR	38 m ²
					2 BR Deluxe	39 m ²
37.	Cornell	-	27	450	-	-
38.	Madison Avenue	-	28	1000	1 BR A	20 m ²
					1 BR B	17 m ²
					1 BR C	16 m ²
					2 BR A	33 m ²
					2 BR B	40 m ²
39.	The Rosebay	7	8	299	-	-
TOTAL				34.124		

LAMPIRAN 2

Populasi Rumah susun di Surabaya

No	Rumah Susun	Jumlah Blok	Jumlah Lantai	Jumlah Unit	Type Unit	
1.	Urip Sumoharjo	3	4	120	-	-
2.	Dupak Bangunrejo	6	3	150	-	-
3.	Sombo	10	4	600	-	-
4.	Penjaringansari I	3	4	240	-	-
5.	Warugunung	10	6	600	-	-
6.	Penjaringansari II	6	4	288	-	-
7.	Wonorejo I	2	4	98	-	-
8.	Wonorejo II	4	4	192	-	-
9.	Tanah Merah I	4	5	192	-	-
10.	Randu	6	5	288	-	-
11.	Penjaringansari III	2	5	99	-	-
12.	Tanah Merah II	4	5	196	-	-
13.	Grudo	2	5	99	-	-
14.	Pesapen	1	5	49	-	-
15.	Jambangan	1	5	48	-	-
16.	Siwalankerto	2	5	99	-	-
17.	Romokalisari Tahap I	4	5	198	-	-
18.	Romokalisari Tahap II	4	5	198	-	-
19.	Romokalisari Tahap III	2	5	99	-	-
20.	Bandarejo	2	5	99	-	-
21.	Gunung Anyar	1	5	66	-	-
22.	Dukuh Mananggal	2	5	66	-	-
23.A	Keputih I (5 II)	2	5	66	-	-
23.B	Keputih I (4 II)	2	4	50	-	-
23.C	Keputih I (5 II)	2	5	66	-	-
24.	Tambak Wedi	2	5	66	-	-
TOTAL				4330		

Sumber : Badan Perencanaan Pembangunan Kota Surabaya (2018)

LAMPIRAN 3

Hasil pengukuran Lapangan

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
12.30.08	2.446	0.26	0.051	0.706
12.40.08	3.196	1.049	0.325	1.18
12.50.08	3.611	0.821	0.18	0.874
13.00.08	3.12	0.601	0.061	1.006
13.10.08	2.595	0.646	0.429	0.665
13.20.08	3.999	1.01	0.312	1.097
13.30.08	2.406	0.374	0.045	0.604
13.40.08	3.725	0.708	0.01	0.863
13.50.08	3.495	1.635	0.001	0.909
14.00.08	3.783	0.78	0.613	1.521
14.10.08	0.391	0.011	0.003	0.561
14.20.08	1.314	0.141	0.003	0.716
14.30.08	0.616	0.08	0.003	0.206
14.40.08	0.128	0.031	0.001	1.038
14.50.08	0.488	0.121	0.001	0.341
15.00.08	0.573	0.08	0.013	0.637
15.10.08	0.069	0.023	0.003	0.335
15.20.08	0.173	0.021	0.001	0.181
15.30.08	0.128	0.02	0.001	0.398
15.40.08	0.435	0.011	0.001	0.066
15.50.08	0.953	0.05	0.001	0.062
16.00.08	0.361	0.031	0.004	0.031
16.10.08	0.231	0.07	0.001	0.143
16.20.08	0.366	0.011	0.04	0.424
16.30.08	0.65	0.02	0.01	0.362
16.40.08	0.089	0.021	0.001	0.36
16.50.08	0.062	0.013	0.021	0.135
17.00.08	0.191	0.024	0.003	0.094
17.10.08	0.059	0.011	0.001	0.757
17.20.08	0.079	0.011	0.081	0.108
17.30.08	0.256	0.011	0.086	0.156
17.40.08	0.15	0.011	0.075	0.045
17.50.08	0.151	0.011	0.003	0.359
18.00.08	0.351	0.021	0.003	0.023
18.10.08	0.108	0.011	0.001	0.031
18.20.08	1.049	0.041	0.003	0.103
18.30.08	0.19	0.069	0	0.053

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
18.40.08	0.708	0.071	0.003	0.526
18.50.08	1.001	0.053	0.003	0.621
19.00.08	0.926	0.054	0.003	0.24
19.10.08	1.036	0.044	0.001	0.653
19.20.08	0.651	0.031	0.011	0.182
19.30.08	0.406	0.041	0.003	0.471
19.40.08	1.083	0.051	0.001	0.475
19.50.08	0.641	0.041	0.01	0.056
20.00.08	0.794	0.05	0.011	0.395
20.10.08	0.974	0.071	0.003	0.438
20.20.08	0.63	0.059	0.003	0.164
20.30.08	0.645	0.031	0.001	0.3
20.40.08	0.526	0.06	0.001	0.481
20.50.08	0.671	0.041	0.001	0.25
21.00.08	0.505	0.011	0.001	0.244
21.10.08	0.465	0.044	0.004	0.254
21.20.08	0.606	0.051	0.001	0.381
21.30.08	0.601	0.071	0.001	0.479
21.40.08	0.514	0.023	0.001	0.316
21.50.08	0.496	0.013	0.003	0.323
22.00.08	0.503	0.03	0.001	0.141
22.10.08	0.6	0.023	0.003	0.083
22.20.08	0.454	0.011	0.003	0.041
22.30.08	0.448	0.011	0.001	0.151
22.40.08	0.444	0.021	0.003	0.023
22.50.08	0.799	0.011	0.014	0.053
23.00.08	0.779	0.013	0.01	0.031
23.10.08	0.751	0.021	0.003	0.092
23.20.08	0.759	0.031	0.003	0.246
23.30.08	0.759	0.031	0.001	0.131
23.40.08	0.759	0.031	0.001	0.043
23.50.08	0.759	0.023	0.003	0.184
Selasa	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
00.00.08	0.729	0.021	0.001	0.201
00.10.08	0.719	0.031	0.003	0.133
00.20.08	0.713	0.024	0.003	0.084
00.30.08	0.699	0.011	0.001	0.018
00.40.08	0.709	0.021	0.001	0.163
00.50.08	0.719	0.01	0.001	0.115

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
01.00.08	0.709	0.024	0.003	0.074
01.10.08	0.709	0.031	0.003	0.181
01.20.08	0.709	0.021	0.001	0.194
01.30.08	0.708	0.01	0.001	0.168
01.40.08	0.719	0.03	0.001	0.08
01.50.08	0.72	0.021	0.001	0.204
02.00.08	0.709	0.041	0.001	0.073
02.10.08	0.731	0.021	0.001	0.181
02.20.08	0.709	0.021	0.001	0.115
02.30.08	0.749	0.021	0.01	0.013
02.40.08	0.709	0.013	0.06	0.201
02.50.08	0.719	0.021	0.001	0.039
03.00.08	0.719	0.031	0.001	0.164
03.10.08	0.709	0.041	0.003	0.101
03.20.08	0.709	0.041	0.001	0.331
03.30.08	0.719	0.031	0.01	0.328
03.40.08	0.77	0.031	0.001	0.17
03.50.08	0.72	0.031	0.003	0.122
04.00.08	0.71	0.031	0.003	0.094
04.10.08	0.709	0.031	0.001	0.221
04.20.08	0.719	0.031	0.001	0.171
04.30.08	0.71	0.031	0.001	0.112
04.40.08	0.709	0.021	0.001	0.354
04.50.08	0.709	0.031	0.001	0.159
05.00.08	0.736	0.043	0.003	0.244
05.10.08	0.713	0.04	0.001	0.043
05.20.08	0.709	0.023	0.003	0.031
05.30.08	0.71	0.031	0.001	0.186
05.40.08	0.709	0.021	0.001	0.083
05.50.08	0.74	0.04	0.001	0.033
06.00.08	0.719	0.021	0.001	0.021
06.10.08	0.727	0.03	0.01	0.191
06.20.08	0.72	0.041	0.001	0.023
06.30.08	0.72	0.023	0.001	0.023
06.40.08	0.709	0.01	0.001	0.011
06.50.08	0.709	0.021	0.001	0.013
07.00.08	0.708	0.02	0	0.02
07.10.08	0.72	0.031	0.001	0.211
07.20.08	0.71	0.031	0.01	0.046
07.30.08	0.72	0.021	0.001	0.164

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
07.40.08	0.72	0.051	0.003	0.281
07.50.08	0.721	0.031	0.01	0.024
08.00.08	0.721	0.031	0.001	0.473
08.10.08	0.719	0.041	0.001	0.253
08.20.08	0.719	0.031	0.003	0.564
08.30.08	0.739	0.021	0.001	0.23
08.40.08	0.709	0.045	0.003	0.436
08.50.08	0.727	0.021	0.02	0.24
09.00.08	0.72	0.053	0.003	0.103
09.10.08	0.729	0.031	0.001	0.027
09.20.08	0.72	0.041	0.003	0.542
09.30.08	0.713	0.031	0.001	0.35
09.40.08	0.719	0.031	0.003	0.666
09.50.08	0.719	0.051	0.003	0.254
10.00.08	0.729	0.021	0.011	0.328
10.10.08	0.74	0.009	0.001	0.318
10.20.08	3.437	0.111	0.286	0.833
10.30.08	0.873	0.053	0.11	0.478
10.40.08	0.414	0.06	0.051	1.009
11.00.08	0.805	0.727	0.04	0.265
11.10.08	1.103	0.568	0.06	0.47
11.20.08	2.806	0.649	0.051	0.251
11.30.08	2.203	0.271	0.421	0.821
11.40.08	0.083	0.013	0.161	0.828
11.50.08	0.709	0.237	0.115	0.989
12.00.08	1.857	0.344	0.386	1.711
12.10.08	1.79	0.328	0.395	0.698
12.20.08	0.895	0.021	0.094	0.131
12.30.08	1.16	0.021	0.358	1.035
12.40.08	1.265	0.179	0.024	0.617
12.50.08	0.151	0.136	0.043	0.206
13.00.08	0.366	0.043	0.01	0.34
13.10.08	1.442	0.213	0.169	0.958
13.20.08	0.108	0.02	0.121	0.522
13.30.08	1.753	0.253	0.227	1
13.40.08	0.762	0.149	0.011	0.631
13.50.08	2.555	0.435	0.193	0.7
14.00.08	0.629	0.152	0.011	0.395
14.10.08	1.687	0.293	0.044	0.844
14.20.08	3.271	0.41	0.101	3.089

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
14.30.08	4.437	0.629	0.53	2.974
14.40.08	2.749	0.321	0.284	2.294
14.50.08	1.951	0.307	0.39	1.913
15.00.08	0.099	0.01	0.01	0.053
15.10.08	0.029	0.011	0.04	0.081
15.20.08	0.099	0.011	0.004	0.023
15.30.08	0.108	0.011	0.003	0.023
15.40.08	0.029	0.011	0.04	0.031
15.50.08	0.054	0.011	0.001	0.066
16.00.08	0.306	0.03	0.01	0.129
16.10.08	0.11	0.021	0.001	0.115
16.20.08	0.011	0.01	0.003	0.171
16.30.08	0.117	0.01	0.001	0.193
16.40.08	0.139	0.031	0.001	0.08
16.50.08	0.129	0.021	0.001	0.003
17.00.08	0.186	0.011	0.01	0.023
17.10.08	0.119	0.011	0.001	0.086
17.20.08	0.136	0.011	0.001	0.011
17.30.08	0.003	0.02	0.001	0.011
17.40.08	0.171	0.011	0.003	0.043
17.50.08	0.088	0.011	0.001	0.013
18.00.08	-0.003	0.01	0	0.011
18.10.08	0.039	0.011	0.01	0.092
18.20.08	0.018	0.011	0.001	0.01
18.30.08	0.129	0.024	0.004	0.044
18.40.08	0.089	0.011	0.003	0.011
18.50.08	0.301	0.011	0.001	0.023
19.00.08	0.004	0.023	0.003	0.011
19.10.08	-0.003	0.01	0.001	0.031
19.20.08	0.19	0.011	0.003	0.013
19.30.08	0.057	0.021	0.011	0.031
19.40.08	0.109	0.021	0.001	0.222
19.50.08	0.083	0.031	0.001	0.111
20.00.08	0.073	0.021	0.001	0.024
20.10.08	0.039	0.031	0.003	0.161
20.20.08	0.15	0.021	0.003	0.191
20.30.08	0.029	0.031	0.031	0.164
20.40.08	0.088	0.021	0.041	0.073
20.50.08	0.01	0.013	0.003	0.053
21.00.08	0.048	0.01	0	0.053

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
21.10.08	0.068	0.01	0.001	0.02
21.20.08	0.044	0.01	0.001	0.03
21.30.08	0.019	0.021	0.003	0.053
21.40.08	0.13	0.021	0.003	0.141
21.50.08	0.129	0.04	0.003	0.043
22.00.08	0.031	0.031	0.001	0.201
22.10.08	0.059	0.011	0.043	0.025
22.20.08	0.237	0.011	0.003	0.064
22.30.08	0.201	0.033	0.003	0.044
22.40.08	0.029	0.011	0.001	0.043
22.50.08	0.039	0.021	0.001	0.043
23.00.08	0.291	0.011	0.001	0.053
23.10.08	0.117	0.003	0.003	0.094
23.20.08	0.099	0.021	0.003	0.275
23.30.08	0.175	0.011	0.003	0.094
23.40.08	0.409	0.023	0.003	0.29
23.50.08	0.366	0.04	0.031	0.064
Rabu	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
00.00.08	0.12	0.023	0.004	0.074
00.10.08	0.136	0.023	0.08	0.261
00.20.08	0.064	0.03	0.003	0.151
00.30.08	0.289	0.044	0.011	0.181
00.40.08	0.193	0.051	0.112	0.074
00.50.08	0.222	0.011	0.001	0.074
01.00.08	0.086	0.021	0.001	0.043
01.10.08	0.213	0.023	0.003	0.083
01.20.08	0.186	0.039	0	0.062
01.30.08	0.065	0.021	0.011	0.043
01.40.08	0.284	0.013	0.003	0.037
01.50.08	0.199	0.023	0.083	0.043
02.00.08	0.234	0.048	0.001	0.081
02.10.08	0.031	0.011	0.031	0.064
02.20.08	0.384	0.011	0.003	0.101
02.30.08	0.214	0.01	0	0.053
02.40.08	0.221	0.01	0.01	0.064
02.50.08	0.19	0.011	0.023	0.064
03.00.08	0.159	0.041	0.003	0.161
03.10.08	0.08	0.053	0.01	0.2
03.20.08	0.091	0.041	0.003	0.16

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
03.30.08	0.039	0.021	0.001	0.064
03.40.08	0.117	0.023	0.01	0.053
03.50.08	0.17	0.031	0.023	0.073
04.00.08	0.176	0.013	0.004	0.065
04.10.08	0.108	0.03	0	0.041
04.20.08	0.049	0.031	0.003	0.043
04.30.08	0.222	0.024	0.003	0.074
04.40.08	0.088	0.061	0.003	0.23
04.50.08	0.176	0.021	0.003	0.073
05.00.08	0.21	0.041	0.001	0.105
05.10.08	0.089	0.011	0.02	0.053
05.20.08	0.019	0.021	0.023	0.074
05.30.08	0.069	0.011	0.04	0.053
05.40.08	0.316	0.021	0.053	0.043
05.50.08	0.349	0.031	0.001	0.213
06.00.08	0.053	0.031	0.001	0.101
06.10.08	0.084	0.051	0.001	0.341
06.20.08	0.019	0.04	0.031	0.22
06.30.08	0.066	0.051	0.003	0.138
06.40.08	0.148	0.059	0.003	0.101
06.50.08	0.231	0.031	0.011	0.053
07.00.08	0.1	0.023	0.004	0.044
07.10.08	0.05	0.019	0.003	0.031
07.20.08	0.164	0.021	0.003	0.011
07.30.08	0.15	0.021	0.003	0.011
07.40.08	0.075	0.011	0.003	0.03
07.50.08	0.21	0.033	0.003	0.115
08.00.08	0.095	0.011	0.003	0.003
08.10.08	0.54	0.011	0.003	0.053
08.20.08	0.205	0.041	0.001	0.004
08.30.08	0.205	0.02	0	0.041
08.40.08	0.269	0.053	0.004	0.094
08.50.08	0.079	0.031	0.01	0.241
09.00.08	0.269	0.01	0.001	0.182
09.10.08	0.386	0.031	0.01	0.043
09.20.08	0.278	0.041	0.001	0.263
09.30.08	0.184	0.04	0.01	0.101
09.40.08	0.52	0.03	0	0.35
09.50.08	0.22	0.053	0.003	0.023
10.00.08	1.764	0.4	0.003	0.449

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
10.10.08	2.571	0.607	0.209	0.691
10.20.08	1.504	0.516	0.003	0.68
10.30.08	0.159	0.02	0.001	0.15
10.40.08	0.249	0.133	0.021	0.035
10.50.08	0.484	0.021	0.003	0.996
11.00.08	0.603	0.04	0.003	0.756
11.10.08	0.088	0.041	0.01	0.727
11.20.08	0.386	0.04	0.011	0.064
11.30.08	0.508	0.031	0.01	0.603
11.40.08	0.28	0.011	0.021	0.115
11.50.08	0.164	0.021	0.029	0.25
12.00.08	0.171	0.004	0.004	0.191
12.10.08	1.396	0.494	0.169	0.834
12.20.08	3.036	0.518	0.021	0.34
12.30.08	1.184	0.08	0.004	0.251
12.40.08	0.666	0.011	0.031	0.946
12.50.08	0.586	0.035	0.043	0.531
13.00.08	0.921	0.01	0.041	0.229
13.10.08	1.174	0.169	0.021	0.489
13.20.08	1.095	0.053	0.011	0.969
13.30.08	0.286	0.021	0.001	0.181
13.40.08	0.641	0.02	0.011	0.279
13.50.08	1.086	0.021	0.011	0.264
14.00.08	0.818	0.04	0.023	0.372
14.10.08	0.573	0.073	0.041	0.26
14.20.08	1.035	0.021	0.031	0.393
14.30.08	0.741	0.289	0.08	0.441
14.40.08	1.163	0.056	0.053	0.331
14.50.08	0.261	0.013	0.001	0.043
15.00.08	0.23	0.01	0.011	0.26
15.10.08	0.225	0.11	0.011	0.28
15.20.08	0.31	0.02	0.003	0.361
15.30.08	0.04	0.011	0.003	0.211
15.40.08	0.069	0.02	0.003	0.128
15.50.08	0.029	0.011	0.021	0.3
16.00.08	0.194	0.011	0.021	0.168
16.10.08	0.019	0.011	0.003	0.27
16.20.08	0.05	0.011	0.001	0.088
16.30.08	0.049	0.011	0.003	0.283
16.40.08	0.15	0.021	0.003	0.011

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
16.50.08	0.209	0.011	0.01	0.016
17.00.08	0.019	0.011	0.003	0.044
17.10.08	0.085	0.021	0.003	0.011
17.20.08	0.09	0.011	0.003	0.003
17.30.08	0.009	0.011	0.003	0.043
17.40.08	0.129	0.011	0.003	0.031
17.50.08	0.34	0.023	0.003	0.116
18.00.08	0.08	0.011	0.001	0.1
18.10.08	0.214	0.021	0.001	0.094
18.20.08	0.578	0.023	0.003	0.213
18.30.08	0.283	0.011	0.001	0.15
18.40.08	0.31	0.02	0.003	0.171
18.50.08	0.359	0.01	0.001	0.114
19.00.08	0.164	0.011	0.003	0.119
19.10.08	0.066	0.013	0.004	0.004
19.20.08	0.18	0.021	0.001	0.07
19.30.08	0.351	0.013	0.003	0.053
19.40.08	0.365	0.023	0.003	0.304
19.50.08	0.258	0.011	0.001	0.386
20.00.08	0.365	0.01	0	0.321
20.10.08	0.049	0.019	0.001	0.148
20.20.08	0.105	0.021	0.011	0.221
20.30.08	0.156	0.011	0.003	0.2
20.40.08	0.068	0.03	0	0.191
20.50.08	0.069	0.021	0.001	0.281
21.00.08	0.367	0.01	0.001	0.092
21.10.08	0.059	0.02	0.003	0.043
21.20.08	0.131	0.01	0.03	0.053
21.30.08	0.199	0.021	0.003	0.361
21.40.08	0.115	0.011	0.001	0.053
21.50.08	0.103	0.031	0.041	0.091
22.00.08	0.04	0.021	0.004	0.074
22.10.08	0.22	0	0	0.091
22.20.08	0.053	0.011	0.041	0.062
22.30.08	0.049	0.011	0.001	0.15
22.40.08	0.279	0.011	0.004	0.251
22.50.08	0.019	0.024	0.023	0.053
23.00.08	0.019	0.01	0.001	0.062
23.10.08	0.13	0.025	0.031	0.074
23.20.08	0.128	0.031	0.001	0.101

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
23.30.08	0.367	0.011	0.001	0.083
23.40.08	0.059	0.021	0.001	0.295
23.50.08	0.544	0.01	0.01	0.131
Kamis	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
00.00.08	0.204	0.031	0.001	0.279
00.10.08	0.749	0.08	0.001	0.1
00.20.08	0.079	0.031	0.003	0.083
00.30.08	0.117	0.02	0.01	0.084
00.40.08	0.101	0.02	0.001	0.053
00.50.08	0.305	0.023	0.003	0.143
01.00.08	0.275	0.023	0.003	0.064
01.10.08	0.117	0.031	0.001	0.151
01.20.08	0.115	0.011	0.001	0.094
01.30.08	0.106	0.011	0.003	0.096
01.40.08	0.171	0.015	0.004	0.084
01.50.08	0.089	0.01	0	0.094
02.00.08	0.059	0.011	0.01	0.074
02.10.08	0.075	0.011	0.001	0.101
02.20.08	0.215	0.079	0.001	0.161
02.30.08	0.22	0.011	0.003	0.143
02.40.08	0.109	0.011	0.01	0.156
02.50.08	0.531	0.023	0.003	0.134
03.00.08	0.094	0.018	0.001	0.143
03.10.08	0.478	0.02	0.08	0.101
03.20.08	0.136	0.04	0.015	0.101
03.30.08	0.088	0.003	0.02	0.069
03.40.08	0.048	0.04	0.001	0.073
03.50.08	0.208	0.011	0	0.111
04.00.08	0.43	0.05	0.003	0.169
04.10.08	0.305	0.041	0.031	0.115
04.20.08	0.253	0.041	0.001	0.091
04.30.08	0.278	0.04	0.001	0.165
04.40.08	0.213	0.041	0.001	0.103
04.50.08	0.309	0.021	0.001	0.083
05.00.08	0.291	0.06	0.019	0.1
05.10.08	0.08	0.023	0.011	0.181
05.20.08	0.247	0.05	0	0.22
05.30.08	0.077	0.05	0.001	0.341
05.40.08	0.213	0.041	0.003	0.344

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
05.50.08	0.076	0.051	0.001	0.073
06.00.08	0.117	0.031	0.043	0.335
06.10.08	0.166	0.051	0.023	0.19
06.20.08	0.089	0.025	0	0.289
06.30.08	0.053	0.023	0.006	0.249
06.40.08	0.247	0.021	0.01	0.283
06.50.08	0.055	0.031	0.004	0.215
07.00.08	0.109	0.01	0.011	0.103
07.10.08	0.291	0.023	0.007	0.133
07.20.08	0.165	0.01	0.01	0.165
07.30.08	0.236	0.021	0.006	0.031
07.40.08	0.454	0.023	0.004	0.143
07.50.08	0.473	0.031	0.001	0.112
08.00.08	0.289	0.041	0.003	0.213
08.10.08	0.491	0.04	0.001	0.232
08.20.08	1.021	0.02	0.01	0.111
08.30.08	0.291	0.031	0.001	0.033
08.40.08	0.401	0.031	0.003	0.184
08.50.08	0.179	0.051	0.001	0.053
09.00.08	0.139	0.049	0.001	0.456
09.10.08	0.316	0.013	0.011	0.169
09.20.08	0.494	0.051	0.003	0.171
09.30.08	0.314	0.021	0.001	0.139
09.40.08	0.059	0.053	0.001	0.152
09.50.08	1.164	0.031	0.003	0.081
10.00.08	0.7	0.004	0.013	0.184
10.10.08	0.001	0.001	0	0.001
10.20.08	0	0	0	-0.003
10.30.08	0.001	0.001	0.001	0.001
13.50.07	0.909	0.053	0.021	0.13
14.00.07	0.647	0.013	0.003	0.41
14.10.07	0.934	0.021	0.062	0.489
14.20.07	0.571	0.15	0.053	0.731
14.30.07	1.345	0.031	0.011	0.249
14.40.07	1.181	0.021	0.02	0.191
14.50.07	1.018	0.031	0.02	0.378
15.00.07	1.274	0.013	0.004	0.925
15.10.07	0.656	0.062	0.045	0.431
15.20.07	0.811	0.091	0.011	0.391
15.30.07	0.57	0.051	0.011	0.246

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
15.40.07	0.92	0.02	0.021	0.234
15.50.07	0.954	0.021	0.021	0.518
16.00.07	0.731	0.021	0.011	0.28
16.10.07	0.878	0.051	0.003	0.795
16.20.07	0.289	0.021	0.001	0.39
16.30.07	0.161	0.021	0.001	0.661
16.40.07	0.114	0.021	0.003	0.178
16.50.07	0.214	0.021	0.001	0.178
17.00.07	0.235	0.013	0.023	0.171
17.10.07	0.089	0.011	0.011	0.171
17.20.07	0.112	0.013	0.003	0.004
17.30.07	0.021	0.011	0.003	0.083
17.40.07	0.09	0.01	0	0.04
17.50.07	0.125	0.021	0.003	0.152
18.00.07	0.09	0.011	0.001	0.011
18.10.07	0.01	0.011	0.003	0.049
18.20.07	0.03	0.023	0.003	0.023
18.30.07	0.258	0.011	0.011	0.031
18.40.07	0.021	0.011	0.001	0.061
18.50.07	0.134	0.013	0.001	0.023
19.00.07	0.044	0.011	0.003	0.023
19.10.07	0.185	0.011	0.003	0.003
19.20.07	0.01	0.011	0.001	0.011
19.30.07	0.029	0.014	0.003	0.004
19.40.07	0.069	0.011	0.001	0.003
19.50.07	0.168	0.013	0.003	0.053
20.00.07	0	0.011	0.011	0.013
20.10.07	0.125	0.011	0.003	0.003
20.20.07	0.019	0.01	0.04	0.021
20.30.07	0.059	0.01	0	0.095
20.40.07	0.039	0.013	0.003	0.101
20.50.07	0.184	0.011	0.001	0.064
21.00.07	0.077	0.001	0.003	0.108
21.10.07	0.089	0.011	0.003	0.115
21.20.07	0.029	0.011	0.003	0.133
21.30.07	0.408	0.01	0.001	0.053
21.40.07	0.434	0.021	0.003	0.083
21.50.07	0.213	0.01	0.001	0.324
22.00.07	0.19	0.003	0.001	0.143
22.10.07	0.164	0.011	0.001	0.191

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
22.20.07	0.129	0.014	0.001	0.152
22.30.07	0.318	0.021	0.003	0.074
22.40.07	0.029	0.03	0.003	0.101
22.50.07	0.119	0.023	0.004	0.074
23.00.07	0.146	0.011	0.001	0.083
23.10.07	0.069	0.031	0.003	0.241
23.20.07	0.139	0.021	0.003	0.164
23.30.07	0.134	0.024	0.001	0.24
Jumat	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
00.00.07	0.059	0.01	0.001	0.161
00.10.07	0.059	0.011	0.001	0.133
00.20.07	0.454	0.011	0.011	0.083
00.30.07	0.293	0.021	0.011	0.075
00.40.07	0.181	0.031	0.001	0.092
00.50.07	0.329	0.023	0.004	0.112
01.00.07	0.544	0.011	0.001	0.146
01.10.07	0.315	0.018	0.001	0.083
01.20.07	0.28	0.013	0.004	0.325
01.30.07	0.204	0.01	0.001	0.166
01.40.07	0.299	0.01	0.003	0.111
01.50.07	0.388	0.013	0.003	0.115
02.00.07	0.216	0.011	0.001	0.141
02.10.07	0.15	0.031	0.003	0.122
02.20.07	0.112	0.019	0.003	0.074
02.30.07	0.108	0.04	0.003	0.15
02.40.07	0.31	0.04	0.001	0.321
02.50.07	0.26	0.031	0.001	0.355
03.00.07	0.19	0.031	0.001	0.081
03.10.07	0.209	0.02	0.001	0.04
03.20.07	0.415	0.031	0.003	0.112
03.30.07	0.066	0.013	0.003	0.074
03.40.07	0.386	0.023	0.004	0.054
03.50.07	0.345	0.05	0.003	0.083
04.00.07	0.139	0.011	0.001	0.101
04.10.07	0.346	0.041	0.001	0.031
04.20.07	0.108	0.021	0.001	0.143
04.30.07	0.139	0.026	0.003	0.103
04.40.07	0.229	0.031	0.003	0.084
04.50.07	0.099	0.021	0.001	0.109

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
05.00.07	0.229	0.01	0	0.081
05.10.07	0.01	0.031	0.001	0.094
05.20.07	0.275	0.031	0.004	0.064
05.30.07	0.366	0.04	0.001	0.129
05.40.07	0.55	0.06	0.003	0.226
05.50.07	0.1	0.013	0.004	0.074
06.00.07	0.12	0.021	0.011	0.111
06.10.07	0.396	0.03	0.006	0.116
06.20.07	0.323	0.041	0.041	0.111
06.30.07	0.415	0.02	0.001	0.241
06.40.07	0.443	0.021	0.003	0.092
06.50.07	0.383	0.011	0.003	0.115
07.00.07	0.083	0.023	0.013	0.234
07.10.07	0.319	0.041	0.001	0.053
07.20.07	0.22	0.04	0.001	0.281
07.30.07	0.464	0.043	0.003	0.401
07.40.07	0.64	0.041	0.003	0.289
07.50.07	0.611	0.023	0.003	0.171
08.00.07	0.607	0.04	0.001	0.441
08.10.07	0.77	0.043	0.003	0.339
08.20.07	0.91	0.04	0.003	0.25
08.30.07	0.786	0.031	0.003	0.383
08.40.07	0.554	0.04	0.001	0.52
08.50.07	0.68	0.02	0.01	0.171
09.00.07	0.76	0.071	0.003	0.868
09.10.07	1.764	0.091	0.003	0.651
09.20.07	0.772	0.04	0.031	0.25
09.30.07	0.48	0.023	0.003	0.429
09.40.07	0.835	0.043	0.014	0.444
09.50.07	0.261	0.041	0.01	0.171
10.00.07	0.445	0.059	0.001	0.21
10.10.07	0.626	0.673	0.034	0.435
10.20.07	0.561	0.031	0.031	0.301
10.30.07	0.737	0.043	0.003	0.478
10.40.07	0.56	0.043	0.053	0.295
10.50.07	1.374	0.084	0.003	1.294
11.00.07	0.376	0.031	0.021	0.564
11.10.07	0.797	0.064	0.04	0.469
11.20.07	0.809	0.053	0.003	0.314
11.30.07	0.951	0.071	0.003	0.44

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
11.40.07	1.143	0.041	0.031	0.24
11.50.07	0.296	0.011	0.021	0.318
12.00.07	0.701	0.061	0.021	0.181
12.10.07	1.093	0.031	0.01	0.746
12.20.07	0.756	0.071	0.031	0.49
12.30.07	0.902	0.021	0.062	0.361
12.40.07	1.065	0.041	0.011	0.141
12.50.07	1.221	0.019	0.021	0.438
13.00.07	0.621	0.06	0.031	0.161
13.10.07	0.049	0.154	0.049	0.499
13.20.07	1.125	0.079	0.031	0.774
13.30.07	1.555	0.101	0.003	0.596
13.40.07	1.176	0.061	0.011	0.761
13.50.07	1.2	0.069	0.041	0.059
14.00.08	0.15	0.011	0.001	0.021
14.10.08	0.108	0.031	0.003	0.074
14.20.08	0.03	0.021	0.003	0.023
14.30.08	0.122	0.043	0.023	0.024
14.40.08	0.069	0.031	0.011	0.003
14.50.08	0.195	0.011	0.003	0.003
15.00.08	0.098	0.031	0.021	0.043
15.10.08	0.105	0.011	0.011	0.023
15.20.08	0.088	0.021	0.011	0.031
15.30.08	0.009	0.021	0.001	0.01
15.40.08	0.001	0.021	0.001	0.011
15.50.08	0	0.021	0.001	0.003
16.00.08	0.001	0.013	0.011	0.004
16.10.08	0	0.021	0.003	0.013
16.20.08	0	0.011	0.003	0.011
16.30.08	0	0.021	0.001	0.013
16.40.08	0	0.011	0.003	0.003
16.50.08	0.001	0.013	0.001	0.011
17.00.08	0	0.011	0.003	0.013
17.10.08	-0.003	0.01	0	0.001
17.20.08	0	0.011	0.003	0.004
17.30.08	0	0.011	0.003	0.003
17.40.08	0	0.011	0.003	0.003
17.50.08	-0.003	0.01	0	0.001
18.00.08	0	0.013	0.003	0.014
18.10.08	0	0.011	0.003	0.003

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
18.20.08	0	0.011	0.003	0.003
18.30.08	0	0.011	0	0.003
18.40.08	0	0.011	0.003	0.003
18.50.08	0	0.01	0.003	0.003
19.00.08	0	0.011	0.001	0.003
19.10.08	0	0.013	0.003	0.003
19.20.08	0.001	0.013	0.003	0.003
19.30.08	0	0.013	0.003	0.003
19.40.08	-0.003	0.01	0.001	0.001
19.50.08	0	0.011	0.001	0.003
20.00.08	0	0.011	0.003	0.003
20.10.08	0	0.011	0.003	0.003
20.20.08	0	0.011	0.001	0.003
20.30.08	0.001	0.013	0.003	0.003
20.40.08	0	0.011	0.003	0.003
20.50.08	0	0.011	0.001	0.003
21.00.08	0	0.011	0.003	0.003
21.10.08	-0.003	0.01	0.003	0.003
21.20.08	-0.003	0.01	0.001	0.001
21.30.08	-0.003	0.011	0.001	0.001
21.40.08	0	0.011	0.003	0.003
21.50.08	0	0.013	0.003	0.001
22.00.08	0	0.011	0.001	0.003
22.10.08	0	0.011	0.003	0.003
22.20.08	0	0.011	0.004	0.001
22.30.08	0	0.011	0.001	0.003
22.40.08	-0.004	0.01	0.003	0.001
22.50.08	0	0.011	0.001	0.001
23.00.08	0	0.013	0.001	0.004
23.10.08	0	0.011	0.003	0.003
23.20.08	0	0.011	0.003	0.003
23.30.08	-0.003	0.011	0.003	0.003
Sabtu	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
00.00.08	0.001	0.011	0.003	0.003
00.10.08	-0.003	0.011	0.001	0.003
00.20.08	0	0.011	0.003	0.003
00.30.08	0	0.013	0.003	0.001
00.40.08	0	0.013	0.001	0.003
00.50.08	-0.003	0.01	0.001	0

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
01.00.08	0	0.01	0.004	0.003
01.10.08	0	0.011	0.001	0.003
01.20.08	0	0.011	0.001	0.003
01.30.08	0	0.01	0.001	0.004
01.40.08	0.029	0.01	0.003	0.003
01.50.08	0	0.013	0.001	0.003
02.00.08	0	0.011	0.001	0.003
02.10.08	-0.003	0.01	0.001	0.001
02.20.08	0.001	0.01	0.001	0.421
02.30.08	0	0.011	0.001	0.43
02.40.08	0.001	0.013	0.003	0.433
02.50.08	0.001	0.011	0.004	0.421
03.00.08	0	0.011	0.003	0.421
03.10.08	0	0.011	0.003	0.421
03.20.08	0	0.011	0.003	0.433
03.30.08	0	0.013	0.003	0.411
03.40.08	0.003	0.013	0.004	0.401
03.50.08	0	0.013	0.003	0.421
04.00.08	0	0.011	0.003	0.401
04.10.08	-0.003	0.013	0.001	0.399
04.20.08	0	0.011	0.001	0.391
04.30.08	-0.003	0.01	0.01	0.4
04.40.08	0	0.011	0.001	0.39
04.50.08	0	0.011	0.001	0.39
05.00.08	0	0.013	0.003	0.39
05.10.08	0	0.011	0.001	0.411
05.20.08	0	0.011	0.003	0.401
05.30.08	-0.003	0.01	0.001	0.395
05.40.08	0	0.011	0.003	0.431
05.50.08	0.01	0.023	0.004	0.289
06.00.08	0.009	0.011	0.003	0.281
06.10.08	0	0.011	0.003	0.011
06.20.08	0	0.023	0.003	0.013
06.30.08	0.01	0.011	0.003	0.011
06.40.08	0.006	0.011	0.003	0.021
06.50.08	0.02	0.031	0.001	0.023
07.00.08	0.019	0.025	0.001	0.023
07.10.08	0.019	0.041	0.004	0.011
07.20.08	0.029	0.031	0.003	0.023
07.30.08	0.039	0.045	0.004	0.023

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
07.40.08	0.03	0.031	0.003	0.004
07.50.08	0.031	0.041	0.004	0.024
08.00.08	0.027	0.029	0	0.011
08.10.08	0.039	0.031	0.001	0.031
08.20.08	0.039	0.031	0.01	0.014
08.30.08	0.039	0.021	0.003	0.021
08.40.08	0.069	0.041	0.001	0.013
08.50.08	0.029	0.051	0.003	0.021
09.00.08	0.039	0.031	0.003	0.013
09.10.08	0.039	0.031	0.003	0.003
09.20.08	0.049	0.041	0.003	0.013
09.30.08	0.039	0.041	0.003	0.013
09.40.08	0.04	0.021	0.001	0.035
09.50.08	0.059	0.051	0.003	0.031
10.00.08	0.049	0.031	0.003	0.011
10.10.08	0.084	0.031	0.018	0.018
10.20.08	0.039	0.02	0.001	0.011
10.30.08	0.066	0.023	0.003	0.023
10.40.08	0.06	0.024	0.014	0.024
10.50.08	0.066	0.011	0.003	0.011
11.00.08	0.122	0.01	0.001	0.031
11.10.08	0.049	0.021	0.011	0.023
11.20.08	0.19	0.011	0.003	0.031
11.30.08	0.068	0.021	0.01	0.021
11.40.08	0.071	0.011	0.003	0.023
11.50.08	0.077	0.011	0.003	0.01
12.00.08	0.02	0.027	0.001	0.033
12.10.08	0.019	0.02	0	0.031
12.20.08	0.019	0.019	0.003	0.013
12.30.08	0.019	0.011	0.001	0.023
12.40.08	0.029	0.011	0.003	0.011
12.50.08	0.02	0.031	0.001	0.031
13.00.08	0.01	0.013	0.003	0.023
13.10.08	0.019	0.011	0.001	0.023
13.20.08	0.029	0.011	0.001	0.023
13.30.08	0.019	0.011	0.004	0.023
13.40.08	0.019	0.013	0.003	0.021
13.50.08	0.01	0.023	0.003	0.031
14.00.08	0.02	0.021	0.003	0.023
14.10.08	0.049	0.023	0.001	0.031

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
14.20.08	0.057	0.041	0.003	0.033
14.30.08	0.02	0.024	0.003	0.025
14.40.08	0.019	0.013	0.003	0.033
14.50.08	0.039	0.011	0.003	0.023
15.00.08	0.108	0.013	0.003	0.033
15.10.08	0.04	0.011	0.001	0.033
15.20.08	0.129	0.023	0.003	0.023
15.30.08	0.098	0.021	0.001	0.021
15.40.08	0.099	0.011	0.001	0.023
15.50.08	0.064	0.02	0.001	0.031
16.00.08	0.021	0.023	0.011	0.021
16.10.08	0.033	0.013	0.003	0.033
16.20.08	0.01	0.021	0.003	0.023
16.30.08	0.117	0.013	0.003	0.023
16.40.08	0.049	0.011	0.004	0.024
16.50.08	0.019	0.013	0.003	0.023
17.00.08	0.116	0.011	0.001	0.023
17.10.08	0.081	0.011	0.004	0.023
17.20.08	0.169	0.013	0.011	0.023
17.30.08	0.1	0.021	0.003	0.021
17.40.08	0.108	0.03	0.01	0.023
17.50.08	0.19	0.001	0.001	0.021
18.00.08	0	0.013	0.001	0.023
18.10.08	0	0.011	0.001	0.01
18.20.08	0	0.013	0.003	0.013
18.30.08	0	0.011	0.001	0.011
18.40.08	0	0.011	0.01	0.003
18.50.08	0	0.011	0.001	0.013
19.00.08	0	0.013	0.003	0.011
19.10.08	-0.003	0.011	0.003	0.013
19.20.08	-0.003	0.01	0.001	0.001
19.30.08	0.001	0.011	0.003	0.023
19.40.08	0.001	0.013	0.003	0.003
19.50.08	-0.003	0.013	0.003	0.013
20.00.08	0	0.011	0.003	0.011
20.10.08	0	0.011	0.001	0.013
20.20.08	0.001	0.013	0.004	0.013
20.30.08	0	0.011	0.003	0.003
20.40.08	0	0.011	0.003	0.004
20.50.08	0.001	0.013	0.003	0.011

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
21.00.08	0.001	0.013	0.003	0.021
21.10.08	0	0.011	0.003	0.011
21.20.08	0.001	0.013	0.003	0.013
21.30.08	-0.004	0.01	0	0.021
21.40.08	0.01	0.011	0.004	0.013
21.50.08	0	0.011	0.003	0.013
22.00.08	0.001	0.011	0.001	0.011
22.10.08	0	0.01	0	0.01
22.20.08	-0.003	0.01	0.001	0.013
22.30.08	0	0.01	0.003	0.021
22.40.08	0	0.011	0.003	0.011
22.50.08	0.001	0.011	0.001	0.013
23.00.08	0.055	0.011	0.003	0.011
23.10.08	0	0.011	0.001	0.023
23.20.08	-0.003	0.021	0.003	0.011
23.30.08	0.119	0.011	0.001	0.023
23.40.08	0.02	0.021	0.003	0.023
23.50.08	-0.003	0.01	0.021	0.021
00.00.08	0	0.01	0.001	0.01
00.10.08	0	0.013	0.011	0.013
00.20.08	0	0.013	0.003	0.003
00.30.08	0	0.013	0.003	0.003
00.40.08	0.019	0.013	0.001	0.003
00.50.08	0	0.011	0.003	0.003
01.00.08	0.001	0.011	0.003	0.011
01.10.08	0	0.011	0.003	0.011
01.20.08	0	0.011	0.003	0.003
01.30.08	0	0.011	0.001	0.003
01.40.08	0	0.011	0.003	0.011
01.50.08	0	0.011	0.003	0.011
02.00.08	0	0.021	0.003	0.003
02.10.08	0.001	0.013	0.003	0.011
02.20.08	0	0.011	0.001	0.011
02.30.08	-0.004	0.01	0.001	0.01
02.40.08	0.001	0.013	0.004	0.013
02.50.08	-0.003	0.011	0.003	0.011
03.00.08	0.001	0.013	0.004	0.013
03.10.08	0	0.011	0.003	0.011
03.20.08	0	0.011	0.003	0.013
03.30.08	0.001	0.011	0.003	0.011

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
03.40.08	0	0.013	0.003	0.013
03.50.08	0	0.011	0.003	0.011
04.00.08	0.003	0.013	0.004	0.004
04.10.08	0.001	0.013	0.004	0.013
04.20.08	0	0.011	0.003	0.01
04.30.08	0	0.011	0.001	0.021
04.40.08	0	0.011	0.003	0.021
04.50.08	0	0.011	0.003	0.013
05.00.08	0	0.011	0.001	0.021
05.10.08	0	0.013	0.001	0.021
05.20.08	0	0.011	0.001	0.021
05.30.08	0.001	0.013	0.003	0.023
05.40.08	0	0.011	0.001	0.011
05.50.08	0	0.013	0.003	0.021
06.00.08	0	0.013	0.003	0.021
06.10.08	0	0.021	0.001	0.023
06.20.08	0.01	0.011	0.003	0.021
06.30.08	0.01	0.021	0.003	0.023
06.40.08	0.009	0.02	0.001	0.01
06.50.08	0.019	0.041	0.003	0.003
07.00.08	0.01	0.031	0.003	0.021
07.10.08	0.01	0.031	0.003	0.024
07.20.08	0.027	0.01	0.001	0.011
07.30.08	0.019	0.02	0.001	0.011
07.40.08	0.029	0.023	0.003	0.013
07.50.08	0.03	0.023	0.004	0.013
08.00.08	0.03	0.031	0.003	0.018
08.10.08	0.021	0.031	0.003	0.013
08.20.08	0.031	0.043	0.004	0.024
08.30.08	0.029	0.04	0.003	0.011
08.40.08	0.029	0.031	0.001	0.013
08.50.08	0.029	0.041	0.003	0.023
09.00.08	0.029	0.031	0.011	0.013
09.10.08	0.029	0.031	0.001	0.011
09.20.08	0.029	0.031	0.003	0.011
09.30.08	0.039	0.041	0.001	0.011
09.40.08	0.029	0.041	0.003	0.021
09.50.08	0.037	0.03	0.001	0.02
10.00.08	0.039	0.041	0.003	0.011
10.10.08	0.055	0.023	0.013	0.013

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
10.20.08	0.029	0.023	0.003	0.011
10.30.08	0.039	0.021	0.013	0.011
10.40.08	0.037	0.02	0.001	0.01
10.50.08	0.019	0.021	0.001	0.011
11.00.08	0.055	0.013	0.003	0.011
11.10.08	0.08	0.023	0.003	0.023
11.20.08	0.059	0.021	0.003	0.023
11.30.08	0.029	0.021	0.001	0.013
11.40.08	0.108	0.023	0.003	0.023
11.50.08	0.165	0.021	0.001	0.01
12.00.08	0.029	0.031	0.013	0.023
12.10.08	0.029	0.021	0.001	0.021
12.20.08	0.009	0.01	0.001	0.011
12.30.08	-0.003	0.03	0.001	0.01
12.40.08	0.018	0.02	0	0.103
12.50.08	0	0.031	0.003	0.011
13.00.08	0.001	0.021	0.001	0.011
13.10.08	-0.003	0.021	0.001	0.021
13.20.08	0.009	0.031	0.001	0.011
13.30.08	0.01	0.023	0.003	0.021
13.40.08	0.009	0.031	0.003	0.021
13.50.08	0	0.021	0.003	0.013
14.00.08	0	0.031	0.003	0.023
14.10.08	0	0.021	0.003	0.023
14.20.08	0	0.011	0.011	0.011
14.30.08	0.01	0.021	0.011	0.011
14.40.08	0	0.023	0.003	0.013
14.50.08	0.01	0.021	0.003	0.013
15.00.08	0.01	0.021	0.011	0.011
15.10.08	0.01	0.029	0.003	0.011
15.20.08	0.01	0.023	0.003	0.011
15.30.08	0.01	0.023	0.001	0.013
15.40.08	0.01	0.011	0.003	0.013
15.50.08	0	0.023	0.001	0.011
16.00.08	-0.003	0.021	0.001	0.021
16.10.08	-0.003	0.011	0.001	0.01
16.20.08	0	0.011	0.003	0.023
16.30.08	0	0.023	0.011	0.021
16.40.08	0	0.011	0.003	0.013
16.50.08	0.001	0.013	0.004	0.013

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
17.00.08	-0.003	0.011	0.001	0.003
17.10.08	0.019	0.011	0.003	0.043
17.20.08	0	0.011	0.003	0.003
17.30.08	-0.003	0.011	0.001	0.004
17.40.08	0	0.011	0.001	0.004
17.50.08	0	0.01	0.001	0.021
18.00.08	0	0.011	0.003	0.004
18.10.08	-0.003	0.01	0.001	0.01
18.20.08	0	0.011	0.001	0.011
18.30.08	-0.003	0.013	0.001	0.023
18.40.08	0	0.011	0.003	0.023
18.50.08	0	0.011	0.001	0.011
19.00.08	0	0.011	0.003	0.014
19.10.08	0	0.011	0.001	0.011
19.20.08	0	0.011	0.003	0.021
19.30.08	0	0.013	0.011	0.023
19.40.08	0	0.01	0.001	0.011
19.50.08	0	0.011	0.003	0.011
20.00.08	0	0.011	0.003	0.013
20.10.08	-0.003	0.01	0.001	0.02
20.20.08	0.001	0.013	0.003	0.023
20.30.08	-0.003	0.013	0.003	0.023
20.40.08	0.001	0.013	0.003	0.013
20.50.08	0	0.011	0.003	0.023
21.00.08	0.001	0.011	0.003	0.011
21.10.08	0.003	0.013	0.004	0.024
21.20.08	0.001	0.013	0.003	0.023
21.30.08	0	0.011	0.001	0.023
21.40.08	0	0.011	0.003	0.013
21.50.08	0	0.013	0.003	0.023
22.00.08	-0.003	0.01	0.01	0.02
22.10.08	0	0.013	0.003	0.011
22.20.08	0.001	0.013	0.004	0.013
22.30.08	0	0.011	0.003	0.003
22.40.08	0	0.011	0.001	0.003
22.50.08	0	0.011	0.001	0.013
23.00.08	-0.003	0.011	0.001	0.011
23.10.08	0.001	0.011	0.001	0.019
23.20.08	0	0.01	0.003	0.011
23.30.08	-0.003	0.01	0.001	0.021

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
23.40.08	0	0.011	0.001	0.018
23.50.08	0	0.011	0.003	0.011
00.00.08	0	0.013	0.001	0.013
00.10.08	0.001	0.011	0.001	0.011
00.20.08	0	0.011	0.001	0.011
00.30.08	0.001	0.01	0.003	0.011
00.40.08	0	0.011	0.001	0.011
00.50.08	0.001	0.011	0.001	0.023
01.00.08	0	0.011	0.003	0.021
01.10.08	0	0.011	0.003	0.023
01.20.08	-0.003	0.01	0	0.01
01.30.08	0	0.003	0.001	0.011
01.40.08	0.001	0.011	0.003	0.011
01.50.08	0.001	0.011	0.003	0.021
02.00.08	-0.003	0.01	0.001	0.013
02.10.08	0	0.011	0.003	0.011
02.20.08	0.001	0.013	0.004	0.004
02.30.08	0.001	0.011	0.004	0.023
02.40.08	-0.003	0.01	0.001	0.01
02.50.08	0	0.011	0.001	0.023
03.00.08	0	0.011	0.003	0.011
03.10.08	0.001	0.011	0.003	0.023
03.20.08	0	0.011	0.003	0.023
03.30.08	0.001	0.013	0.003	0.024
03.40.08	0	0.011	0.003	0.013
03.50.08	0	0.01	0.003	0.011
04.00.08	0	0.011	0.003	0.021
04.10.08	0.001	0.013	0.004	0.013
04.20.08	0	0.011	0.003	0.021
04.30.08	-0.003	0.01	0.001	0.01
04.40.08	0	0.011	0.001	0.011
04.50.08	0	0.011	0.003	0.01
05.00.08	-0.003	0.01	0.001	0.01
05.10.08	0	0.01	0.001	0.011
05.20.08	0	0.011	0.001	0.011
05.30.08	0	0.011	0.003	0.019
05.40.08	0	0.011	0.003	0.023
05.50.08	-0.003	0.01	0.001	0.01
06.00.08	0	0.021	0.003	0.021
06.10.08	0.003	0.013	0.004	0.023

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
06.20.08	0.019	0.031	0.001	0.011
06.30.08	0.01	0.011	0.003	0.011
06.40.08	0	0.031	0.001	0.021
06.50.08	0.004	0.031	0.003	0.011
07.00.08	0.01	0.033	0.003	0.013
07.10.08	0.01	0.021	0.001	0.011
07.20.08	0.01	0.04	0.001	0.013
07.30.08	0.01	0.021	0.003	0.013
07.40.08	0.02	0.031	0.001	0.011
07.50.08	0.019	0.031	0.001	0.011
08.00.08	0.019	0.041	0.001	0.003
08.10.08	0.03	0.021	0.001	0.003
08.20.08	0.039	0.031	0.001	0.013
08.30.08	0.03	0.036	0.001	0.024
08.40.08	0.031	0.034	0.004	0.023
08.50.08	0.069	0.031	0.001	0.011
09.00.08	0.029	0.04	0.003	0.021
09.10.08	0.05	0.031	0.001	0.013
09.20.08	0.049	0.041	0.003	0.011
09.30.08	0.069	0.04	0.001	0.011
09.40.08	0.06	0.053	0.013	0.013
09.50.08	0.036	0.041	0.001	0.01
10.00.08	0.01	0.014	0.004	0.084
10.10.08	0.01	0.021	0.001	0.101
10.20.08	0.03	0.033	0.004	0.004
10.30.08	-0.003	0.023	0.003	0.011
10.40.08	0	0.024	0.003	0.011
10.50.08	0.007	0.031	0.001	0.01
11.00.08	0.01	0.027	0.003	0.021
11.10.08	0.019	0.023	0.003	0.011
11.20.08	0.023	0.021	0.003	0.011
11.30.08	0.019	0.031	0.011	0.003
11.40.08	0.018	0.03	0.001	0.581
11.50.08	0.018	0.03	0.001	0.598
12.00.08	0.01	0.014	0.004	0.1
12.10.08	0.01	0.023	0.013	0.09
12.20.08	0.019	0.023	0.011	0.004
12.30.08	0.027	0.03	0.001	0.304
12.40.08	0.018	0.031	0.004	0.171
12.50.08	0.029	0.041	0.011	0.004

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
13.00.08	0.019	0.04	0.021	0.68
13.10.08	0.01	0.041	0.013	0.023
13.20.08	0.019	0.041	0.021	0.031
13.30.08	0.01	0.04	0.021	0.033
13.40.08	0.018	0.031	0.003	0.011
13.50.08	0.01	0.031	0.001	0.003
14.00.08	0.001	0.023	0.205	0.874
14.10.08	0	0.021	0.21	0.791
14.20.08	0.089	0.02	0.244	1.164
14.30.08	0.463	0.041	0.001	0.081
14.40.08	0.139	0.023	0.003	0.064
14.50.08	-0.003	0.01	0.02	0.001
15.00.08	-0.003	0.003	0.003	0.003
15.10.08	0	0.011	0.003	0.003
15.20.08	0	0.011	0.003	0.003
15.30.08	0	0.011	0.003	0.003
15.40.08	0.01	0.011	0.001	0.011
15.50.08	0	0.021	0.003	0.003
16.00.08	0	0.011	0.001	0.003
16.10.08	0	0.011	0.001	0.003
16.20.08	0	0.011	0.003	0.003
16.30.08	0	0.011	0.011	0.011
16.40.08	0.009	0.011	0.001	0.003
16.50.08	-0.003	0.011	0.001	0.003
17.00.08	0.03	0.013	0.004	0.004
17.10.08	-0.003	0.01	0.003	0.003
17.20.08	-0.003	0.013	0.001	0.043
17.30.08	0	0.011	0.003	0.031
17.40.08	0	0.011	0.003	0.046
17.50.08	0	0.011	0.003	0.053
18.00.08	0	0.011	0.003	0.003
18.10.08	0.001	0.013	0.004	0.043
18.20.08	0	0.011	0.003	0.023
18.30.08	-0.004	0.01	0.003	0.023
18.40.08	0.001	0.011	0.004	0.013
18.50.08	0	0.011	0.004	0.031
19.00.08	0.001	0.011	0.003	0.011
19.10.08	0.001	0.011	0.003	0.011
19.20.08	0	0.011	0.003	0.003
19.30.08	0	0.011	0.001	0.004

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
19.40.08	0	0.011	0.003	0.003
19.50.08	0.003	0.013	0.003	0.013
20.00.08	0	0.003	0.001	0.001
20.10.08	0	0.011	0.001	0.003
20.20.08	-0.003	0.01	0.003	0.001
20.30.08	0	0.01	0.003	0.021
20.40.08	0	0.003	0.004	0.003
20.50.08	0	0.011	0.001	0.004
21.00.08	0	0.021	0.003	0.003
21.10.08	0.001	0.013	0.004	0.004
21.20.08	0	0.011	0.003	0.003
21.30.08	0.001	0.011	0.003	0.003
21.40.08	0	0.011	0.001	0.011
21.50.08	-0.003	0.01	0.001	0.025
22.00.08	0	0.011	0.001	0.003
22.10.08	-0.003	0.011	0.003	0.001
22.20.08	-0.003	0.011	0.001	0.003
22.30.08	0	0.013	0.003	0.003
22.40.08	0.001	0.01	0.003	0.011
22.50.08	0.001	0.013	0.004	0.003
23.00.08	0	0.01	0.003	0.003
23.10.08	0	0.011	0.001	0.003
23.20.08	-0.003	0.01	0.001	0.06
23.30.08	0.001	0.011	0.003	0.003
23.40.08	0	0.011	0.003	0.003
23.50.08	0	0.011	0.001	0.003
00.00.08	-0.003	0.01	0.001	0.001
00.10.08	0	0.013	0.001	0.016
00.20.08	0	0.011	0.003	0.003
00.30.08	0	0.013	0.001	0.023
00.40.08	-0.003	0.011	0.001	0.003
00.50.08	0	0.011	0.001	0.001
01.00.08	0	0.011	0.003	0.003
01.10.08	-0.003	0.01	0.001	0.004
01.20.08	-0.003	0.01	-0.003	0.001
01.30.08	0	0.011	0.003	0.01
01.40.08	0.001	0.011	0.003	0.024
01.50.08	0	0.011	0.001	0.031
02.00.08	0	0.013	0.003	0.062
02.10.08	0	0.013	0.003	0.083

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
02.20.08	0.001	0.013	0.003	0.004
02.30.08	0	0.011	0.003	0.011
02.40.08	0	0.011	0.001	0.053
02.50.08	-0.003	0.011	0.003	0.021
03.00.08	0.001	0.014	0.003	0.064
03.10.08	0	0.011	0.003	0.003
03.20.08	0.001	0.011	0.011	0.003
03.30.08	0	0.011	0.001	0.073
03.40.08	0.001	0.013	0.003	0.003
03.50.08	0	0.011	0.001	0.029
04.00.08	0.001	0.013	0.003	0.043
04.10.08	0	0.011	0.001	0.053
04.20.08	-0.003	0.011	0.001	0.031
04.30.08	0	0.01	0.001	0.051
04.40.08	-0.003	0.01	0.001	0.062
04.50.08	0	0.011	0.001	0.076
05.00.08	0.101	0.01	0.003	0.073
05.10.08	0	0.011	0.001	0.051
05.20.08	-0.003	0.01	0	0.06
05.30.08	0	0.01	0.003	0.043
05.40.08	0	0.013	0.003	0.074
05.50.08	0.04	0.011	0.003	0.083
06.00.08	0	0.021	0.001	0.062
06.10.08	0.02	0.021	0.001	0.043
06.20.08	0	0.011	0.003	0.001
06.30.08	0	0.031	0.001	0.092
06.40.08	0.049	0.023	0.003	0.064
06.50.08	0.027	0.014	0.001	0.011
07.00.08	0.17	0.023	0.001	0.043
07.10.08	0.17	0.013	0.004	0.039
07.20.08	0.174	0.019	0.01	0.003
07.30.08	0.171	0.023	0.004	0.024
07.40.08	0.11	0.011	0.001	0.062
07.50.08	0.158	0.023	0.001	0.011
08.00.08	0.259	0.041	0.003	0.013
08.10.08	0.404	0.036	0.003	0.003
08.20.08	0.186	0.031	0.003	0.011
08.30.08	0.234	0.003	0.001	0.001
08.40.08	0.109	0.024	0.003	0.001
08.50.08	0.366	0.04	0.001	0.01

Hari	CH1	CH2	CH3	CH4
	m/s	m/s	m/s	m/s
09.00.08	0.273	0.043	0.003	0.013
09.10.08	0.115	0.021	0.001	0.001
09.20.08	0.329	0.021	0.003	0.001
09.30.08	0.258	0.021	0.001	0.001
09.40.08	0.27	0.013	0.003	0.003
09.50.08	0.237	0.021	0.001	0.001
10.00.08	0.079	0.01	0.003	0.001
10.10.08	0.306	0.011	0.001	0.001
10.20.08	0.227	0.021	0.001	0.004
10.30.08	0.095	0.027	0.003	0.001
10.40.08	0.219	0.021	0.003	0.001
10.50.08	0.04	0.021	0.003	0.001
11.00.08	0.07	0.021	0.003	0.024
11.10.08	0.039	0.021	0.001	0.001
11.20.08	0.079	0.021	0.001	0.001
11.30.08	0.089	0.031	0.003	0.041
11.40.08	0.06	0.043	0.004	0.003
11.50.08	0.029	0.011	0.003	0.003
12.00.08	0.01	0.021	0.001	0.021
12.10.08	0.01	0.021	0.003	0.011
12.20.08	0.018	0.031	0.001	0.003
12.30.08	0.029	0.031	0.001	0.01
12.40.08	0.029	0.021	0.001	0.001
12.50.08	0.039	0.033	0.004	0.094
13.00.08	0.039	0.041	0.001	0.001
13.10.08	0.05	0.043	0.004	0.024
13.20.08	0.039	0.041	0.003	0.021
13.30.08	0.039	0.021	0.001	0.021
13.40.08	0.039	0.041	0.011	0.001
13.50.08	0.05	0.031	0.08	0.819
14.00.08	0.039	0.031	0.071	0.372
14.10.08	0.039	0.021	0.003	0.013
14.20.08	0.037	0.011	0.003	0.02
14.30.08	0.039	0.031	0.001	0.011
14.40.08	0.039	0.031	0.011	0.01
14.50.08	0.039	0.031	0.003	0.011
15.00.08	0.039	0.031	0.003	0.003
15.10.08	0.04	0.031	0.003	0.011

LAMPIRAN 4

Hasil Kecepatan Angin Pengukuran Lapangan

Jam	R1		R2		R3		R4	
	Jendela	Tengah	Tengah	Jendela	Jendela	Tengah	Tengah	Jendela
11.00	2.90	0.62	0.21	0.83	1.03	0.21	0.21	0.62
12.00	2.90	1.45	0.62	1.45	0.83	0.62	0.21	1.45
13.00	2.90	1.20	0.30	1.20	1.20	0.60	0.00	0.60
14.00	2.90	0.83	0.41	1.03	0.83	0.41	0.21	0.83
15.00	2.90	0.83	0.26	1.03	1.03	0.62	0.21	0.83
Rata-rata	2.12	0.54	0.14	0.74	0.53	0.24	0.07	1.74

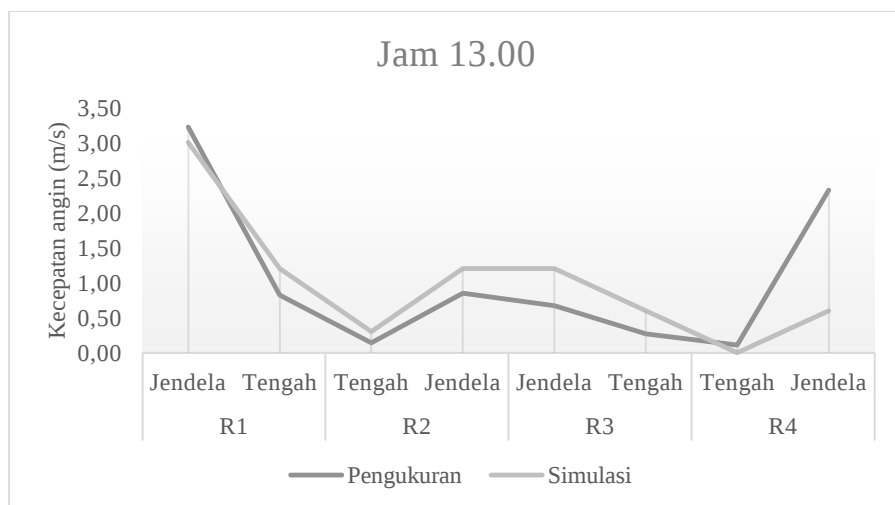
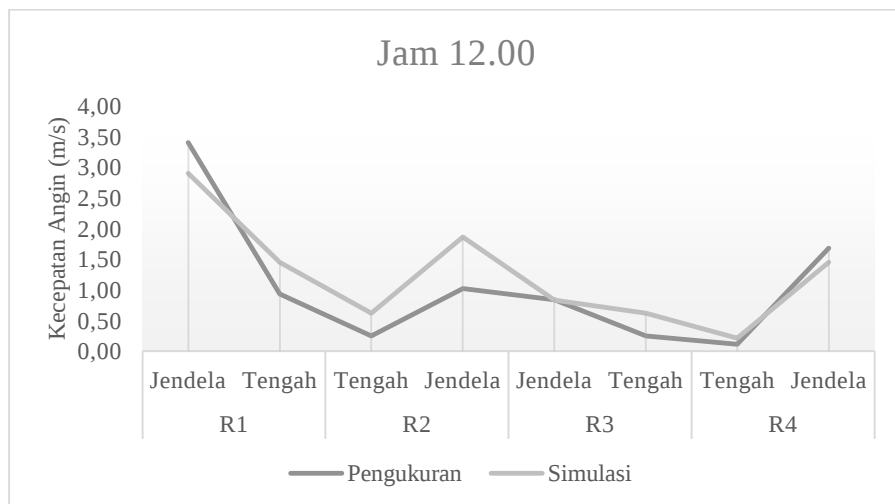
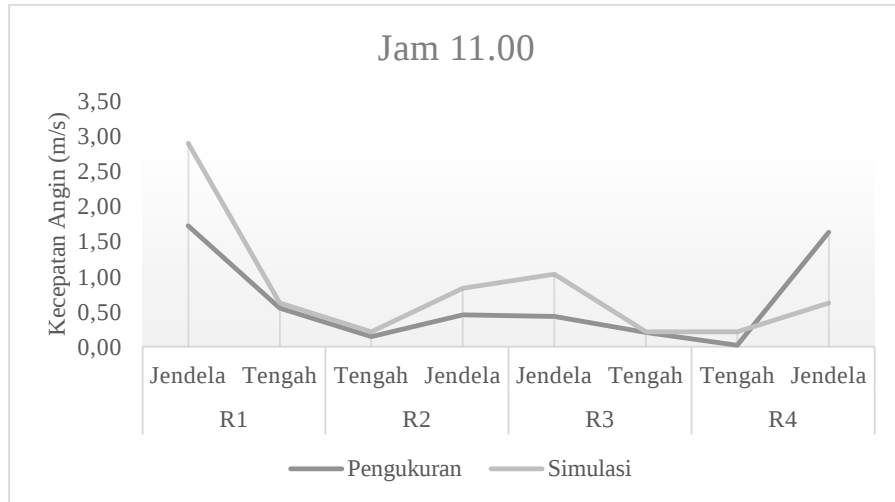
LAMPIRAN 5

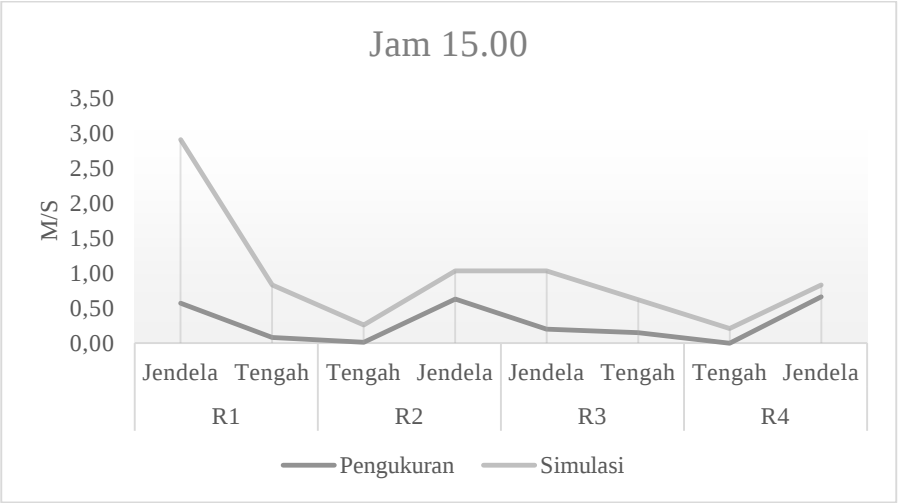
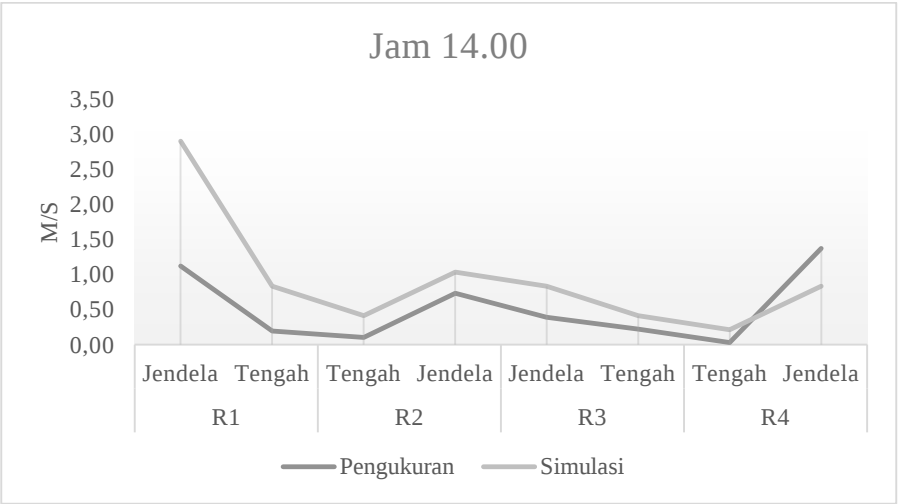
Hasil Kecepatan Angin Simulasi CFD

Jam	R1		R2		R3		R4	
	Jendela	Tengah	Tengah	Jendela	Jendela	Tengah	Tengah	Jendela
11.00	2.90	0.83	0.21	0.83	0.41	0.21	0.21	1.24
12.00	2.90	1.03	0.41	0.83	0.83	0.62	2.28	0.21
13.00	2.90	1.03	0.21	1.03	0.83	0.41	0.00	2.07
14.00	2.48	0.41	0.41	0.83	0.62	0.21	0.21	0.83
15.00	2.48	0.83	0.21	0.62	0.83	0.41	0.21	0.83
Rata-rata	2.73	0.83	0.29	0.83	0.70	0.37	0.58	1.04

LAMPIRAN 6

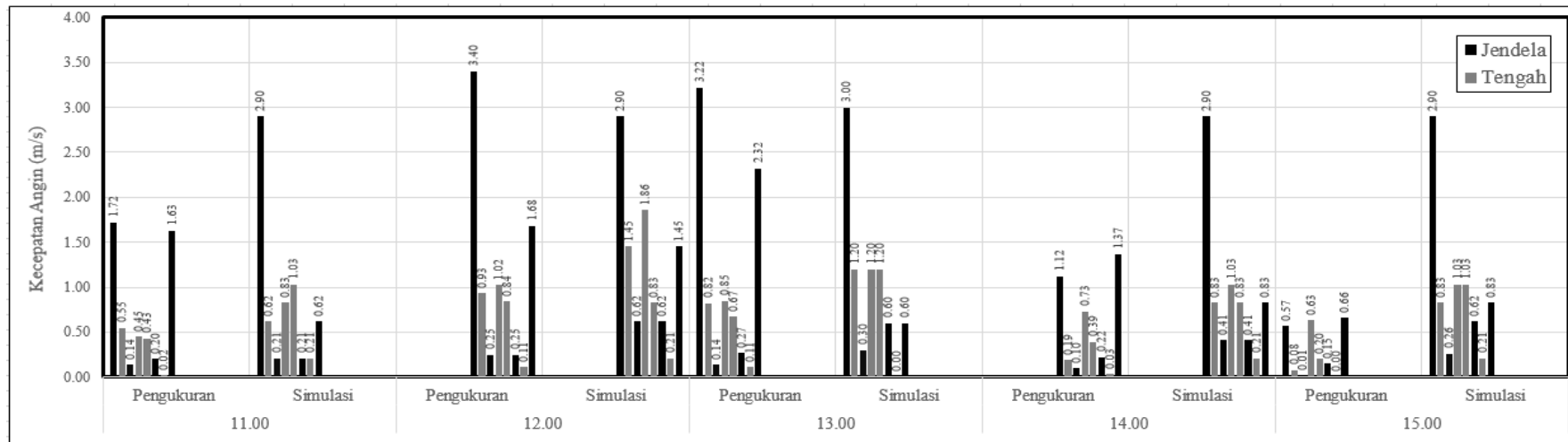
Grafik Hasil Pengukuran Dan Simulasi





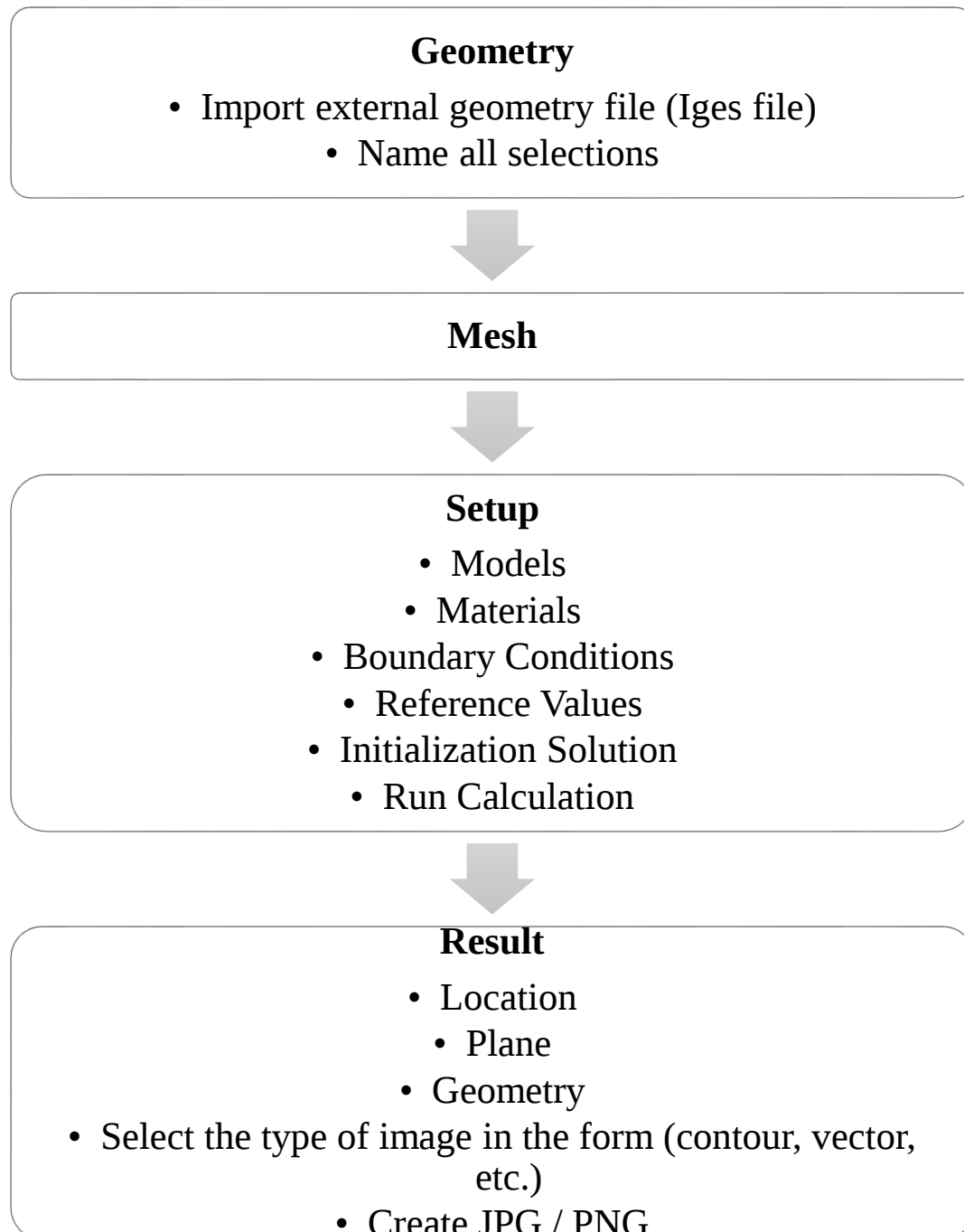
LAMPIRAN 7

Grafik Batang Hasil Pengukuran Dan Simulasi

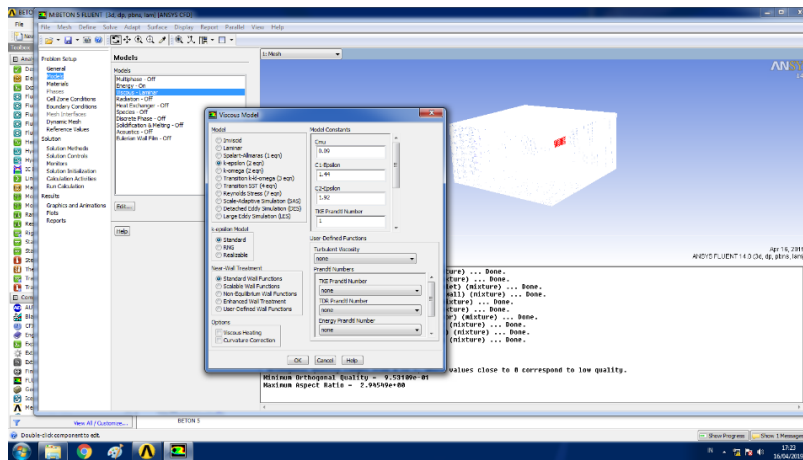


LAMPIRAN 8

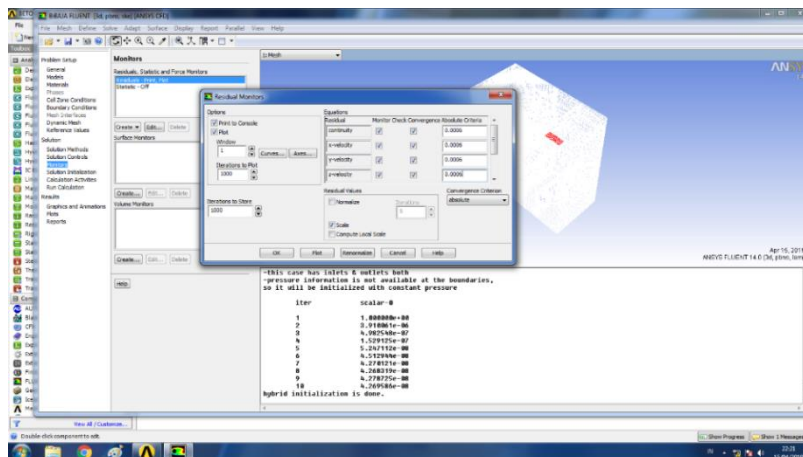
Setting Simulasi CFD



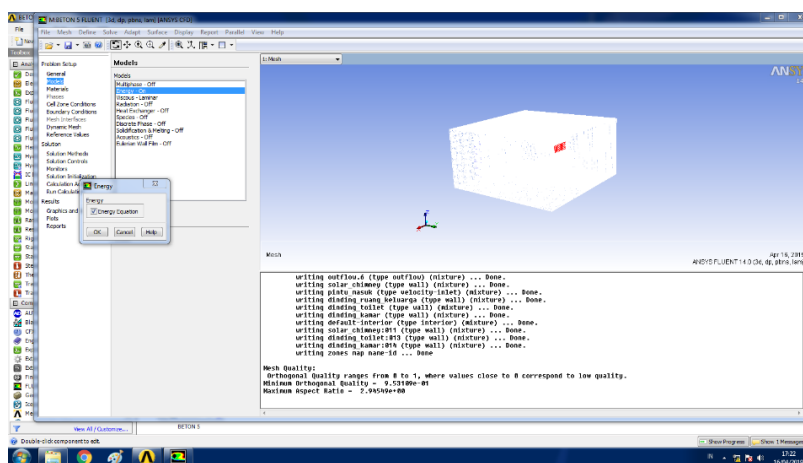
1. Setting Perhitungan Viscosity



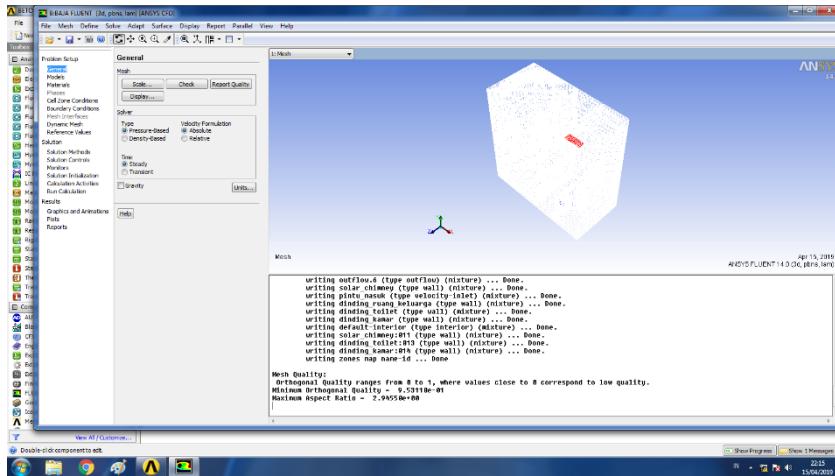
2. Setting Residu



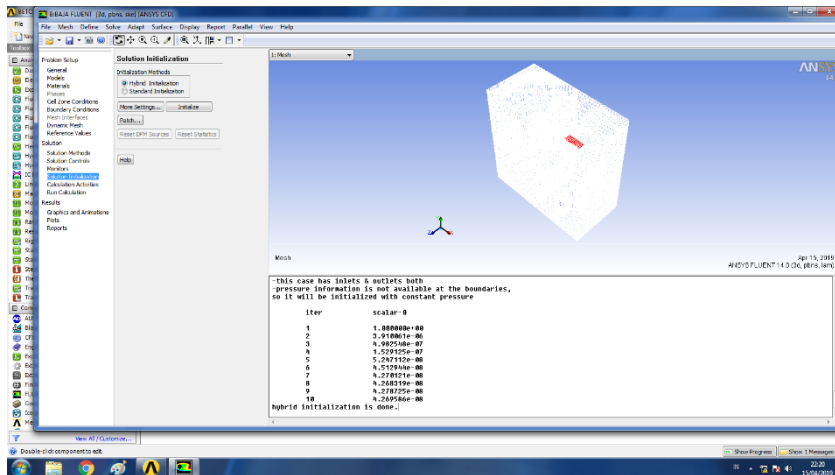
3. Setting Energy



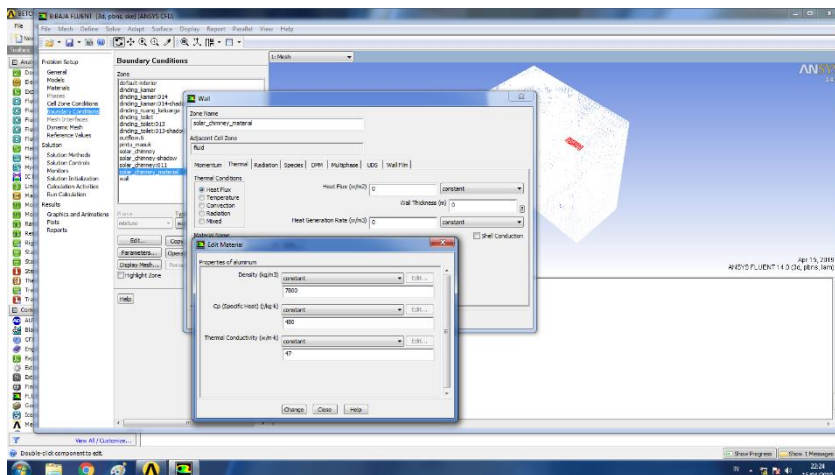
4. Setting Meshing



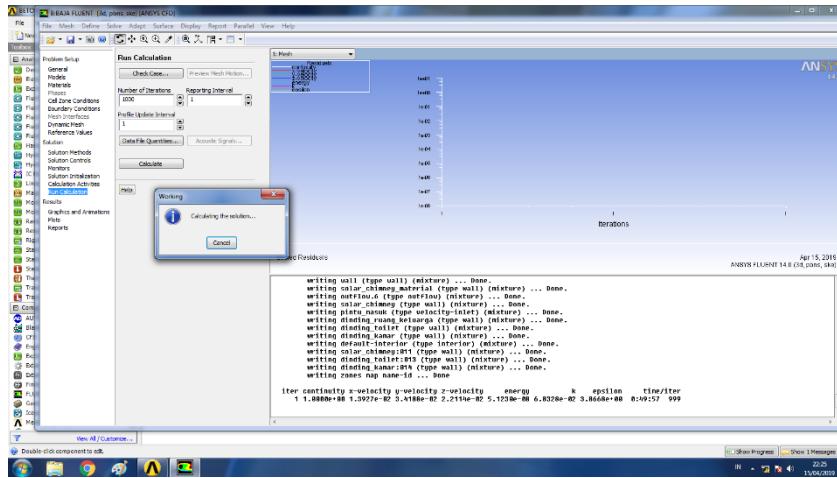
5. Setting Solution Initialization



6. Setting Material



7. Setting Calculating



LAMPIRAN 9

Hasil Simulasi Temperatur Material Beton

- Lantai 8

Relative Humidity (%)	Fanger PMV	Air Temperature (°C)	Radiant Temperatur (°C)	Operative Temperatur (°C)	Outside Dry-Bulb Temperatur (°C)
69.02	1.82	29.73	31.72	30.72	27.98
69.25	1.76	29.53	31.59	30.56	27.63
70.90	1.62	29.01	31.42	30.21	26.78
72.83	1.46	28.43	31.20	29.82	25.93
73.19	1.34	28.21	30.97	29.59	26.01
71.82	1.35	28.42	30.84	29.63	26.36
69.90	1.40	28.78	30.83	29.81	27.10
65.59	1.63	29.91	30.94	30.42	28.65
64.28	1.82	30.50	31.08	30.79	30.51
64.05	1.87	30.67	31.15	30.91	32.35
62.69	1.96	31.08	31.19	31.14	33.74
60.54	2.07	31.61	31.27	31.44	34.61
58.66	2.18	32.02	31.40	31.71	34.96
56.78	2.26	32.35	31.55	31.95	34.77
55.76	2.32	32.50	31.69	32.09	34.19
55.60	2.34	32.52	31.79	32.15	33.38
55.34	2.35	32.51	31.85	32.18	32.36
56.38	2.34	32.33	31.89	32.11	31.26
59.12	2.29	31.91	31.97	31.94	30.22
62.06	2.22	31.43	32.02	31.73	29.74
63.74	2.19	31.22	32.05	31.64	29.58
64.85	2.16	31.02	32.06	31.54	29.44
66.10	2.08	30.66	31.98	31.32	28.93
68.03	1.94	30.09	31.86	30.98	28.13

- Lantai17

Relative Humidity (%)	Fanger PMV	Air Temperature (°C)	Radiant Temperatur (°C)	Operative Temperatur (°C)	Outside Dry-Bulb Temperatur (°C)
64.05	2.21	30.98	32.39	31.69	27.98
64.83	2.13	30.74	32.27	31.51	27.63
65.87	2.04	30.41	32.14	31.28	26.78
67.06	1.93	30.04	31.98	31.01	25.93
67.92	1.83	29.74	31.80	30.77	26.01
68.07	1.77	29.62	31.64	30.63	26.36
67.51	1.75	29.67	31.60	30.63	27.10
64.93	1.85	30.26	31.63	30.94	28.65
62.19	2.05	31.12	31.72	31.42	30.51
59.97	2.24	31.94	31.83	31.89	32.35
58.47	2.38	32.48	31.89	32.18	33.74
56.00	2.48	32.96	31.99	32.47	34.61
53.92	2.56	33.25	32.14	32.69	34.96
53.75	2.55	33.04	32.26	32.65	34.77
55.37	2.49	32.67	32.32	32.49	34.19
55.48	2.49	32.68	32.36	32.52	33.38
54.40	2.53	32.86	32.40	32.63	32.36
54.45	2.54	32.88	32.43	32.65	31.26
55.26	2.56	32.82	32.52	32.67	30.22
56.89	2.54	32.56	32.59	32.58	29.74
58.42	2.51	32.32	32.64	32.48	29.58
59.69	2.47	32.08	32.66	32.37	29.44
61.15	2.40	31.74	32.59	32.16	28.93
62.73	2.30	31.34	32.50	31.92	28.13

- Lantai 25

Relative Humidity (%)	Fanger PMV	Air Temperature (°C)	Radiant Temperatur (°C)	Operative Temperatur (°C)	Outside Dry-Bulb Temperatur (°C)
63.21	2.27	31.21	32.47	31.84	27.98
63.98	2.20	30.98	32.36	31.67	27.63
64.96	2.12	30.69	32.24	31.46	26.78
66.13	2.01	30.32	32.08	31.20	25.93
67.20	1.90	29.97	31.91	30.94	26.01
67.71	1.82	29.77	31.75	30.76	26.36
67.42	1.79	29.76	31.69	30.72	27.10
65.20	1.87	30.24	31.70	30.97	28.65
62.81	2.03	30.96	31.78	31.37	30.51
60.64	2.22	31.79	31.87	31.83	32.35
58.17	2.40	32.58	31.94	32.26	33.74
55.03	2.53	33.18	32.05	32.62	34.61
52.74	2.62	33.50	32.21	32.86	34.96
52.01	2.62	33.36	32.34	32.85	34.77
55.04	2.51	32.69	32.39	32.54	34.19
55.46	2.50	32.69	32.43	32.56	33.38
54.32	2.55	32.90	32.46	32.68	32.36
54.32	2.56	32.92	32.49	32.70	31.26
55.02	2.58	32.88	32.58	32.73	30.22
56.46	2.57	32.67	32.65	32.66	29.74
57.92	2.54	32.43	32.69	32.56	29.58
59.18	2.50	32.19	32.71	32.45	29.44
60.61	2.43	31.87	32.65	32.26	28.93
61.97	2.35	31.53	32.57	32.05	28.13

LAMPIRAN 10

Hasil Simulasi Temperatur Material Kaca

- Lantai 8

Relative Humidity (%)	Fanger PMV	Air Temperature (°C)	Radiant Temperatur (°C)	Operative Temperatur (°C)	Outside Dry-Bulb Temperatur (°C)
75.54151	1.318662	28.07662	30.91409	29.49535	27.975
75.60131	1.274439	27.92348	30.7508	29.33714	27.63333
78.72189	1.068357	27.13428	30.48977	28.81202	26.775
82.02438	0.837861 2	26.32448	30.16237	28.24343	25.93333
82.13956	0.694644 1	26.14897	29.84373	27.99635	26.00833
79.61834	0.746268 1	26.55651	29.68151	28.11901	26.35833
75.94724	0.845673 4	27.25082	29.6765	28.46366	27.1
72.03922	1.102561	28.27382	29.82446	29.04914	28.65
70.25771	1.224333	28.78514	29.94093	29.36303	30.50833
67.13831	1.452626	29.74349	30.11385	29.92867	32.35
63.9	1.7	30.8	30.3	30.5	33.7
60.6	1.9	31.7	30.5	31.1	34.6
57.5	2.1	32.4	30.8	31.6	35.0
55.2	2.2	32.7	31.1	31.9	34.8
49.6	2.5	33.7	31.4	32.6	34.2
51.2	2.4	33.2	31.6	32.4	33.4
55.3	2.3	32.3	31.7	32.0	32.4
60.86713	2.130334	31.32149	31.6825	31.502	31.25833
66.62096	1.942915	30.26137	31.67461	30.96799	30.21667
69.39016	1.806542	29.76581	31.60418	30.685	29.74167
70.32868	1.780129	29.63786	31.55675	30.59731	29.58333
70.88519	1.736862	29.49014	31.4916	30.49087	29.44167
72.06438	1.648307	29.11575	31.35264	30.2342	28.93333
74.9816	1.447813	28.3254	31.13727	29.73134	28.13333

- Lantai17

Relative Humidity (%)	Fanger PMV	Air Temperature (°C)	Radiant Temperatur (°C)	Operative Temperatur (°C)	Outside Dry-Bulb Temperatur (°C)
68.45711	1.91179	29.92436	31.96888	30.94662	27.975
68.64073	1.850132	29.77783	31.81651	30.79717	27.63333
69.888	1.730183	29.33616	31.63546	30.48581	26.775
71.88165	1.560575	28.7288	31.40142	30.06511	25.93333
73.43041	1.395681	28.24671	31.13577	29.69124	26.00833
73.19102	1.326156	28.18668	30.92124	29.55396	26.35833
71.80768	1.344563	28.42503	30.86194	29.64348	27.1
68.55949	1.490608	29.18981	30.91146	30.05064	28.65
65.06593	1.733988	30.33217	31.04729	30.68973	30.50833
61.22892	2.056825	31.64254	31.24237	31.44246	32.35
57.7	2.3	32.7	31.4	32.1	33.7
54.9	2.5	33.2	31.6	32.4	34.6
54.6	2.5	33.1	31.9	32.5	35.0
55.2	2.4	32.8	32.0	32.4	34.8
53.6	2.5	33.0	32.2	32.6	34.2
51.8	2.6	33.2	32.3	32.8	33.4
52.3	2.5	33.0	32.4	32.7	32.4
54.8173	2.48998	32.60534	32.42411	32.51473	31.25833
58.58218	2.419157	32.03386	32.47861	32.25624	30.21667
61.90321	2.31933	31.48799	32.47732	31.98265	29.74167
63.67241	2.267887	31.21887	32.448	31.83344	29.58333
64.92629	2.215762	30.98201	32.39794	31.68998	29.44167
65.96824	2.141225	30.70646	32.27596	31.49121	28.93333
67.28239	2.035994	30.30927	32.13702	31.22314	28.13333

- Lantai25

Relative Humidity (%)	Fanger PMV	Air Temperature (°C)	Radiant Temperatur (°C)	Operative Temperatur (°C)	Outside Dry-Bulb Temperatur (°C)
69.24564	1.86645 5	29.71627	31.93703	30.82665	27.975
69.46635	1.79493	29.5586	31.76646	30.66253	27.63333
70.78355	1.67166 7	29.10427	31.57164	30.33796	26.775
72.92142	1.49373 3	28.47243	31.32074	29.89658	25.93333
74.67061	1.31735 5	27.94862	31.0355	29.49206	26.00833
74.47399	1.24099 2	27.87674	30.80269	29.33972	26.35833
73.40695	1.24112 2	28.03275	30.72093	29.37684	27.1
70.34898	1.36212 3	28.72249	30.74087	29.73168	28.65
66.26775	1.63206 9	30.02393	30.87395	30.44894	30.50833
61.76823	1.99275 8	31.50622	31.08481	31.29551	32.35
57.0	2.3	32.9	31.3	32.1	33.7
53.0	2.5	33.7	31.6	32.7	34.6
50.3	2.7	34.2	31.9	33.0	35.0
50.9	2.7	33.6	32.1	32.9	34.8
53.5	2.5	33.0	32.2	32.6	34.2
51.7	2.6	33.2	32.4	32.8	33.4
52.3	2.6	33.0	32.5	32.7	32.4
54.82368	2.49832	32.60738	32.46099	32.53418	31.25833
58.69603	2.421	32.0049	32.51066	32.25778	30.21667
62.10714	2.31426 6	31.43344	32.50056	31.967	29.74167
63.94289	2.25668 2	31.14656	32.46225	31.8044	29.58333
65.2671	2.19937 4	30.89166	32.40298	31.64732	29.44167
66.33067	2.12172 4	30.60944	32.27221	31.44083	28.93333
67.80384	2.00515	30.1704	32.12131	31.14585	28.13333

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Fristatesa Andriani lahir di Palangka Raya pada tanggal 30 Maret 1993. Penulis merupakan anak bungsu dari dua bersaudara dari pasangan Taniskowarisano dan Eni K. Muntun. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Saing pada tahun 1998-2004, dilanjutkan di SMPN 4 Dusun Tengah pada tahun 2004-2007, kemudian menempuh pendidikan pada SMKN 2 Barito Timur pada tahun 2007-2010. Pada tahun 2010-2015, penulis melanjutkan pendidikan S1 jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Pada tahun 2017 penulis melanjutkan jenjang pendidikan S2 jurusan Arsitektur Lingkungan Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.