

PEMODELAN BUKAAN UNTUK VENTILASI ALAMI DALAM BANGUNAN

MODELING OF OPENING FOR NATURAL VENTILATION IN BUILDINGS

Sampoerna Romadhona¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si.², Dr. Ery Djunaedy, S.T., M.Sc.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

samromadhon@gmail.com¹, jakasantang@gmail.com², erydjunaedy@gmail.com³

Abstrak

Rancangan arsitektur bangunan di wilayah yang beriklim tropis selalu dilengkapi dengan berbagai jenis bukaan yang bertujuan untuk memasukkan angin dari luar ke dalam ruangan sehingga berfungsi sebagai ventilasi alami. Namun, pada saat tahap perancangan bangunan, belum ada upaya untuk merumuskan bagaimana cara untuk memodelkan bukaan tersebut dengan cara yang mudah. Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui cara memodelkan bukaan untuk ventilasi alami. Pemodelan bukaan tersebut dibutuhkan untuk menghitung aliran udara dalam bangunan. Ventilasi dibutuhkan agar udara di dalam ruangan tetap sehat dan nyaman bagi manusia. Pada penelitian ini telah dilakukan pemodelan bukaan untuk ventilasi alami pada tiga studi kasus dengan menggunakan model AirflowNetwork pada perangkat lunak EnergyPlus. Objek penelitian pada tugas akhir ini adalah bangunan Belgian PASSYS cell, bangunan kotak dan bangunan masjid. Berdasarkan studi kasus kedua, bukaan tipe casement menghasilkan aliran udara tertinggi sedangkan bukaan tipe hung, sliding dan hopper menghasilkan aliran udara terendah. Pada model bangunan masjid telah dilakukan pemodelan bukaan dengan dua simulasi yang berbeda, aliran udara dalam bangunan masjid mengalami penurunan seiring dengan pengurangan bukaan yang didefinisikan. Kenyamanan termal model bangunan kotak sederhana berada pada rentang -1.04 sampai 2.22 dan pada model bangunan masjid berada pada rentang -1.26 sampai 3.26.

Kata kunci: bukaan, ventilasi alami, kenyamanan termal.

Abstract

Architectural buildings in tropical regions are always equipped with various types of openings that aim to enter the wind from the outside into the room so that it serves as a natural ventilation. However, during the design stage of the building, there has been no attempt to formulate how to model the openings in an easy way. This research was conducted to find out how to model openings for natural ventilation. Modeling the openings required to calculate the air flow in a building. Ventilation is needed to keep the air in the room healthy and comfortable for humans. In this research, there has been modeling of openings for natural ventilation in three case studies using the AirflowNetwork model on the EnergyPlus software. In this model we need input data that is discharge coefficient and opening factor value. The object of this research is Belgian PASSYS cell building, box building and mosque building. Based on a second case study, casement type openings produce the highest airflow while hung, sliding and hopper type openings produce the lowest airflow. In the model of mosque building has been done with the modeling of openings with two different simulations, air flow within the mosque building decreased along with the reduction of defined openings. The thermal comfort of the box building model is in the range of -1.04 to 2.22 and the mosque building model is in the range of -1.26 to 3.26.

Keywords: *opening, natural ventilation, thermal comfort*

1. Pendahuluan

Letak geografis Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa yaitu diantara 23,5° LU dan 23,5° LS mengakibatkan Indonesia termasuk ke dalam wilayah yang beriklim tropis. Kondisi tersebut menjadi salah satu perhatian karena berdampak langsung terhadap kenyamanan termal manusia. Hal ini dikarenakan suhu rata-rata pada wilayah tropis adalah sebesar 28 °C. Secara umum temperatur udara luar tersebut cenderung berada di batas atas ambang kenyamanan termal manusia atau bahkan di atas ambang batas kenyamanan termal. Rancangan arsitektur bangunan di wilayah yang beriklim tropis selalu dilengkapi dengan berbagai jenis bukaan yang bertujuan untuk memasukkan angin dari luar ke dalam ruangan sehingga berfungsi sebagai ventilasi alami. Namun, pada saat tahap perancangan bangunan, belum ada upaya untuk merumuskan bagaimana cara

memodelkan bukaan tersebut dengan cara yang mudah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui cara memodelkan bukaan untuk ventilasi alami. Pemodelan bukaan tersebut dibutuhkan untuk menghitung aliran udara dalam bangunan. Ventilasi dibutuhkan agar udara di dalam ruangan tetap sehat dan nyaman bagi penghuni. Pengguna energi tertinggi pada sebagian besar bangunan adalah ventilasi mekanik. Hal tersebut dapat direduksi dengan cara penggunaan ventilasi alami sebagai penggantinya. Ventilasi alami biasa digunakan untuk meningkatkan kenyamanan penghuni sebelum munculnya ventilasi mekanik seperti saat ini. Ventilasi alami adalah pergantian udara secara alami, tidak melibatkan peralatan mekanik. Ventilasi alami merupakan ventilasi yang sehat, nyaman, tanpa memerlukan energi tambahan. Selain menghemat energi operasional, ventilasi alami juga menghemat biaya awal melalui potensi pengurangan kapasitas pendinginan, pasokan saluran udara, saluran udara balik, dan peralatan terkait lainnya [1,2,3].

2. Dasar Teori

2.1 Bukaan

Bukaan merupakan pelubangan pada selubung bangunan yang berfungsi untuk ventilasi, masuknya angin, serta kontrol iklim pada ruangan. Bukaan merupakan elemen fungsional yang penting dari selubung bangunan, menghubungkan antara ruang *indoor* dan *outdoor* sebagai komponen struktural transparan atau tembus pandang. Oleh karenanya bukaan sangat penting untuk pencapaian kenyamanan termal. Bukaan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, berdasarkan bentuk dan ukurannya terkait dengan selubung bangunan. Bukaan terbagi dalam dua kategori besar yaitu *purpose-provided* dan *adventitious*. Bukaan *purpose-provided* adalah bukaan yang telah didesain dari awal (tahap perancangan), seperti ventilasi udara, jendela dan *thermal chimney*. Bukaan *adventitious* adalah bukaan yang tidak disengaja, seperti celah di dinding, pintu dan jendela [4].

2.1.1 Bentuk Bukaan

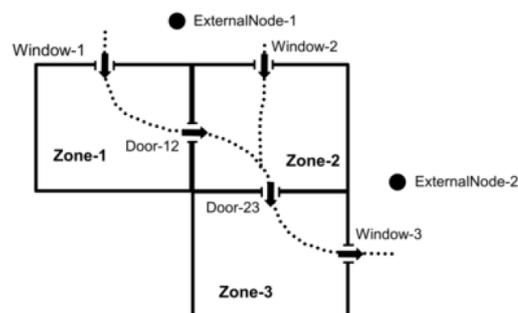
Bentuk bukaan dapat dikategorikan berdasarkan *aspect ratio*, (L/d_h) yang mana L adalah panjang bukaan dalam arah aliran dan d_h adalah diameter hidrolik dari bukaan, *aspect ratio* memiliki pengaruh besar terhadap *discharge coefficient*. Berdasarkan hal tersebut, ada dua jenis bukaan, yang pertama adalah *short opening* yang merupakan bukaan dengan nilai rasio aspek rendah (contohnya adalah jendela) dan jenis yang kedua adalah *long opening* dengan nilai rasio aspek lebih besar dari lima [4].

2.2 Ventilasi Alami

Ventilasi alami adalah aliran udara melalui jendela yang terbuka, pintu, kisi-kisi, dan penetrasi selubung bangunan lainnya yang direncanakan tanpa menggunakan sistem mekanik. Ventilasi alami terjadi karena adanya perbedaan tekanan di luar suatu bangunan gedung yang disebabkan oleh angin atau karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terdapat gas-gas panas yang naik di dalam saluran ventilasi. Selain menghemat biaya energi bangunan, ventilasi alami juga dapat menghemat biaya awal/modal dan biaya operasi melalui potensi pengurangan kapasitas pendinginan, pasokan saluran udara dan peralatan terkait lainnya [2,4,5].

2.3 Pemodelan Aliran Udara Ventilasi Alami

Pada penelitian ini digunakan model *AirflowNetwork* pada perangkat lunak *EnergyPlus*. Model ini dapat mensimulasikan kinerja dari distribusi sistem udara, termasuk *supply and return leaks*, dan menghitung aliran udara *multizone* yang disebabkan oleh udara luar. Pada Gambar 2.1 menunjukkan pola aliran udara yang memungkinkan di mana semua jendela dan pintu terbuka. *External node* adalah distribusi koefisien tekanan angin sebagai fungsi arah angin yang di masukan menggunakan objek *Wind Pressure Coefficient*. Sifat udara yang mengalir melalui jendela dan pintu ditentukan menggunakan objek *opening*. Model *airflow network* menghitung aliran setiap sistem secara timesteps tergantung pada berbagai faktor, termasuk arah dan kecepatan angin, ukuran dan posisi vertikal bukaan, suhu udara luar ruangan, dan suhu udara zona [6].



Gambar 2.1 Plan view airflow network sederhana yang menunjukkan pola aliran udara yang memungkinkan di mana semua jendela dan pintu terbuka [6].

Pada sistem aliran udara yang menggunakan ventilasi alami dapat dilakukan pemodelan bukaannya dengan model *AirflowNetwork*. Data masukan dalam pemodelan bukaan dengan model *AirflowNetwork* adalah *discharge coefficient* dan *opening factor*. *Discharge coefficient* (C_d) adalah koefisien bukaan yang mengkuantifikasi efisiensi aliran udara dari suatu celah dari sebuah lubang. Bot (1983) memperkenalkan sebuah persamaan empiris yang berhubungan dengan *discharge coefficient* bukaan persegi panjang dengan rasio aspek L/d_h . *Opening factor* adalah faktor untuk menentukan area bukaan yang efektif [8].

$$C_d = \frac{1}{\sqrt{1.75 + 0.7 \exp\left[-\frac{L}{32.5d_h}\right]}} \quad (2-1)$$

Keterangan:

C_d : *discharge coefficient*

L : panjang (m)

d_h : diameter hidrolis (m)

2.4 Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal adalah keadaan kepuasan subjektif yang bervariasi pada individu dan sejumlah faktor tidak langsung. ASHRAE (1989) telah mendefinisikannya sebagai “kondisi pikiran yang mengekspresikan kepuasan terhadap lingkungan termal” [1,4].

2.5 Predicted Mean Vote (PMV)

PMV merupakan prediksi pendapat kenyamanan dari sebagian banyak orang (sekelompok orang) dalam suatu kondisi termal tertentu. Skala sensasi termal (*thermal sensation scale*) adalah skala psiko-fisik tujuh titik mulai dari -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3 yang secara verbal disebut dingin, sejuk, agak sejuk, netral, agak hangat, hangat, panas. Jelaslah bahwa netral adalah kondisi yang paling baik [1,3].

3. Pembahasan

3.1 Pemodelan Bukaan

Pada pemodelan bukaan untuk ventilasi alami dengan menggunakan model *AirflowNetwork* diperlukan data masukan yaitu nilai *discharge coefficient* dan *opening factor*. Untuk perhitungan nilai *discharge coefficient* dari bukaan pada penelitian ini didasarkan pada nilai C_d dengan pengaruh *aspect ratio* bukaan (persamaan 2-1). Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, nilai *opening factor* pada bukaan yang dimodelkan dalam model bangunan didasarkan pada jenis bukaannya. Pada Tabel 3.1 dapat dilihat nilai *opening factor* bukaan berdasarkan jenisnya.

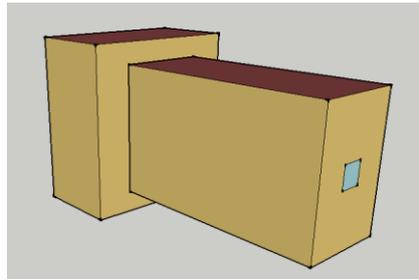
Tabel 3.1 Nilai *opening factor* bukaan.

No.	Jenis Bukaan	Nilai <i>Opening Factor</i>
1	<i>Awning</i>	0.75
2	<i>Jalousie</i>	0.75
3	<i>Casement</i>	0.9
4	<i>Hung</i>	0.45
5	<i>Sliding</i>	0.45
6	<i>Hopper</i>	0.45

3.2 Studi Kasus 1

3.2.1 Geometri Bangunan

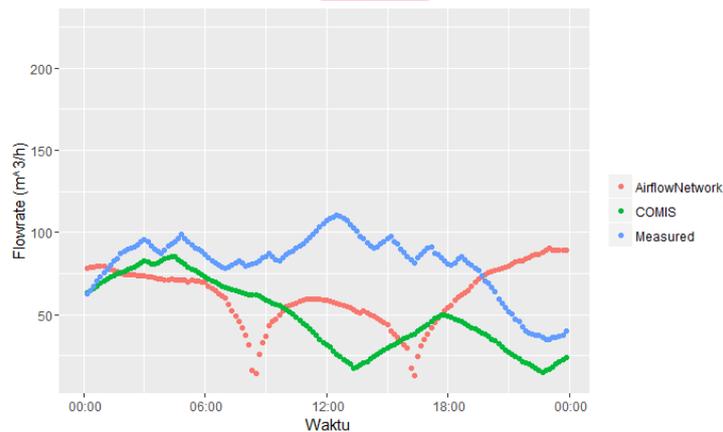
Model bangunan Belgian PASSYS Cell dengan volume 58 m³, dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pada model bangunan ini terdapat 2 ruangan yaitu *test room* dan *service room* yang dipisahkan dengan permukaan dinding dan pada permukaan selatan terdapat bukaan dengan ukuran panjang 0.5 m dan lebar 0.5 m sehingga nilai C_d nya adalah 0.640. Data cuaca yang digunakan pada simulasi ini adalah data cuaca Belgia [12].



Gambar 3.2 Model bangunan Belgian PASSYS Cell.

3.2.2 Aliran Udara Dalam Bangunan

Dapat dilihat pada Gambar 3.3 aliran udara dalam model bangunan Belgian PASSYS Cell, data COMIS dan *measured* merupakan data hasil dari referensi, sedangkan data *AirflowNetwork* merupakan data hasil dari simulasi yang telah penulis lakukan. Tidak ada perbedaan yang terlalu tinggi pada ketiga data tersebut, pada data COMIS nilai aliran udara tertinggi adalah sebesar $110.68 \text{ m}^3/\text{h}$ dan yang terendah adalah sebesar $35.14 \text{ m}^3/\text{h}$, pada data *measured* nilai aliran udara tertinggi adalah sebesar $85.24 \text{ m}^3/\text{h}$ dan yang terendah adalah sebesar $14.66 \text{ m}^3/\text{h}$, serta pada data *AirflowNetwork* nilai aliran udara tertinggi adalah sebesar $90.5 \text{ m}^3/\text{h}$ dan yang terendah adalah sebesar $12.69 \text{ m}^3/\text{h}$. Hal yang dapat mempengaruhi perbedaan pada ketiga data tersebut antara lain adalah data cuaca yang digunakan dan pengolahan data hasil simulasi.

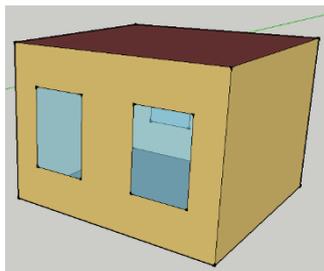


Gambar 3.3 Grafik aliran udara dalam model bangunan Belgian PASSYS Cell.

3.3 Studi Kasus 2

3.3.1 Geometri Bangunan

Dapat dilihat pada Gambar 3.4 model bangunan pada studi kasus yang kedua adalah bangunan kotak sederhana yang luasnya adalah 16 m^2 , terdapat bukaan berupa jendela di permukaan utara dan selatan bangunan dengan ukuran yang sama yaitu panjang 1 m dan lebar 1.5 m. Data cuaca yang digunakan pada simulasi ini adalah data cuaca Bandung.



Gambar 3. 4 Model bangunan kotak.

3.3.2 Nilai Discharge Coefficient (C_d) Bukaannya

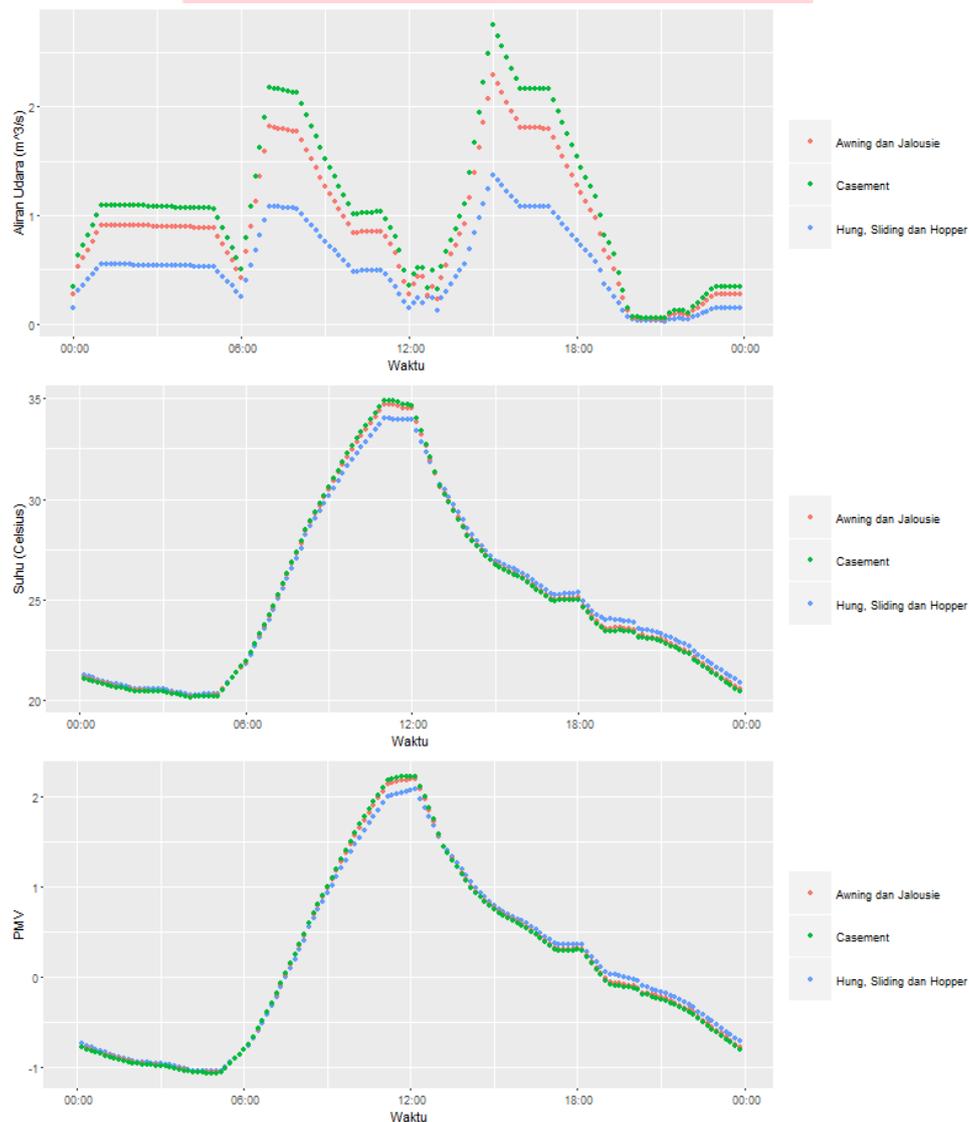
Pada model bangunan kotak, nilai C_d pada setiap bukaan bernilai sama dikarenakan ukuran bukaannya sama. Panjang dari bukaannya adalah 1 m, lebarnya adalah 1.5 m dan d_h nya adalah 1.2, sehingga nilai C_d pada model bangunan kotak sederhana adalah 0.642.

3.3.3 Aliran Udara Dalam Bangunan

Pada model bangunan kotak dilakukan pemodelan semua jenis bukaan (*awning, jalousie, casement, hung, sliding* dan *hopper*). Dapat dilihat pada Gambar 3.5 aliran udara dalam model bangunan kotak sederhana dengan berbagai jenis bukaan. Aliran udara tertinggi pada model bangunan kotak sederhana adalah sebesar $2.75 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan menggunakan bukaan tipe *casement* dan yang terendah adalah sebesar $0.02 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan menggunakan bukaan tipe *hung, sliding* dan *hopper*.

3.3.4 Kenyamanan Termal Ruangan

Pada Gambar 3.5 dapat dilihat suhu dan kenyamanan termal (nilai PMV) pada bangunan kotak. Pada setiap tipe bukaan yang dimodelkan, suhu dan nilai PMV nya tidak ada perbedaan yang signifikan. Suhu pada bangunan dengan bukaan tipe *hung, sliding* dan *hopper, awning* dan *jalousie* serta *casement* secara berturut-turut berada pada rentang 20.26° C hingga 34.02° C , 20.17° C hingga 34.71° C dan 20.14° C hingga 34.91° C . Nilai PMV bangunan dengan bukaan tipe *hung, sliding* dan *hopper, awning* dan *jalousie* serta *casement* secara berturut-turut berada pada rentang -1.04 hingga 2.08 , -1.06 hingga 2.19 dan -1.06 hingga 2.22 .

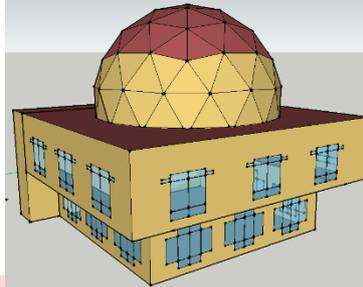


Gambar 3.5 Grafik aliran udara, suhu dan kenyamanan termal pada studi kasus 2

3.4 Studi Kasus 3

3.4.1 Geometri Bangunan

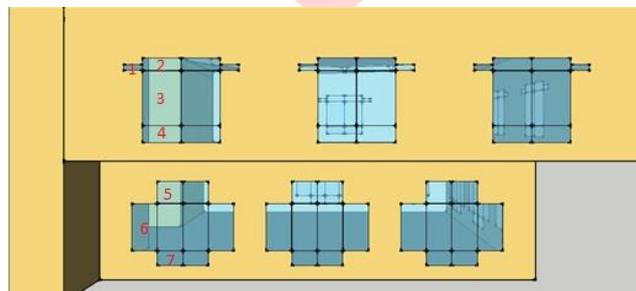
Model bangunan pada studi kasus yang ketiga adalah bangunan masjid Al-Muhajirin Bandung, terdapat 3 ruangan yaitu ruang kiri, ruang kanan dan ruang shalat dengan luas total model bangunan adalah 256 m². Model bangunan ini memiliki bukaan berupa jendela pada permukaan utara, selatan dan timur dengan jumlah keseluruhan bukaan adalah 144 buah dengan ukuran yang berbeda-beda.



Gambar 3.6 Model bangunan masjid.

3.4.2 Nilai *Discharge Coefficient* (C_d) Bukaan

Untuk memudahkan dalam perhitungan nilai C_d pada model bangunan masjid, bukaan dalam model ini dikelompokkan dalam beberapa tipe sesuai ukuran, dapat dilihat pada Gambar. Hal tersebut dikarenakan ukuran bukaan pada model masjid berbeda-beda.



Gambar 3.7 Pengelompokkan bukaan berdasarkan ukurannya.

Berikut dapat dilihat pada Tabel 3.2 nilai *discharge coefficient* bukaan pada model bangunan masjid berdasarkan *aspect ratio* bukaan tersebut.

Tabel 3.2 Nilai discharge coefficient bukaan pada model bangunan masjid.

No.	Tipe Bukaan	Ukuran		d_h	Nilai <i>Discharge Coefficient</i>
		Panjang (m)	Lebar (m)		
1	Tipe 1	0.45	0.15	0.225	0.639
2	Tipe 2	0.93	0.31	0.465	0.640
3	Tipe 3	0.93	1.30	1.084	0.642
4	Tipe 4	0.93	0.40	0.559	0.640
5	Tipe 5	0.70	0.61	0.652	0.640
6	Tipe 6	0.70	1.30	0.910	0.641
7	Tipe 7	0.70	0.40	0.509	0.640

Pada studi kasus yang ketiga ini dilakukan dua simulasi yang berbeda. Pada simulasi yang pertama pendefinisian bukaan dilakukan sesuai dengan keadaan aslinya sedangkan pada simulasi yang kedua, untuk setiap bukaan dengan tipe 3 dan 6 tidak didefinisikan sehingga ada penurunan luas bukaan yang didefinisikan yaitu sebesar 64.8%. Jenis bukaan yang didefinisikan pada studi kasus ketiga ini adalah jenis bukaan *jalousie* dan *hopper*. Data cuaca yang digunakan pada simulasi ini adalah data cuaca Bandung.

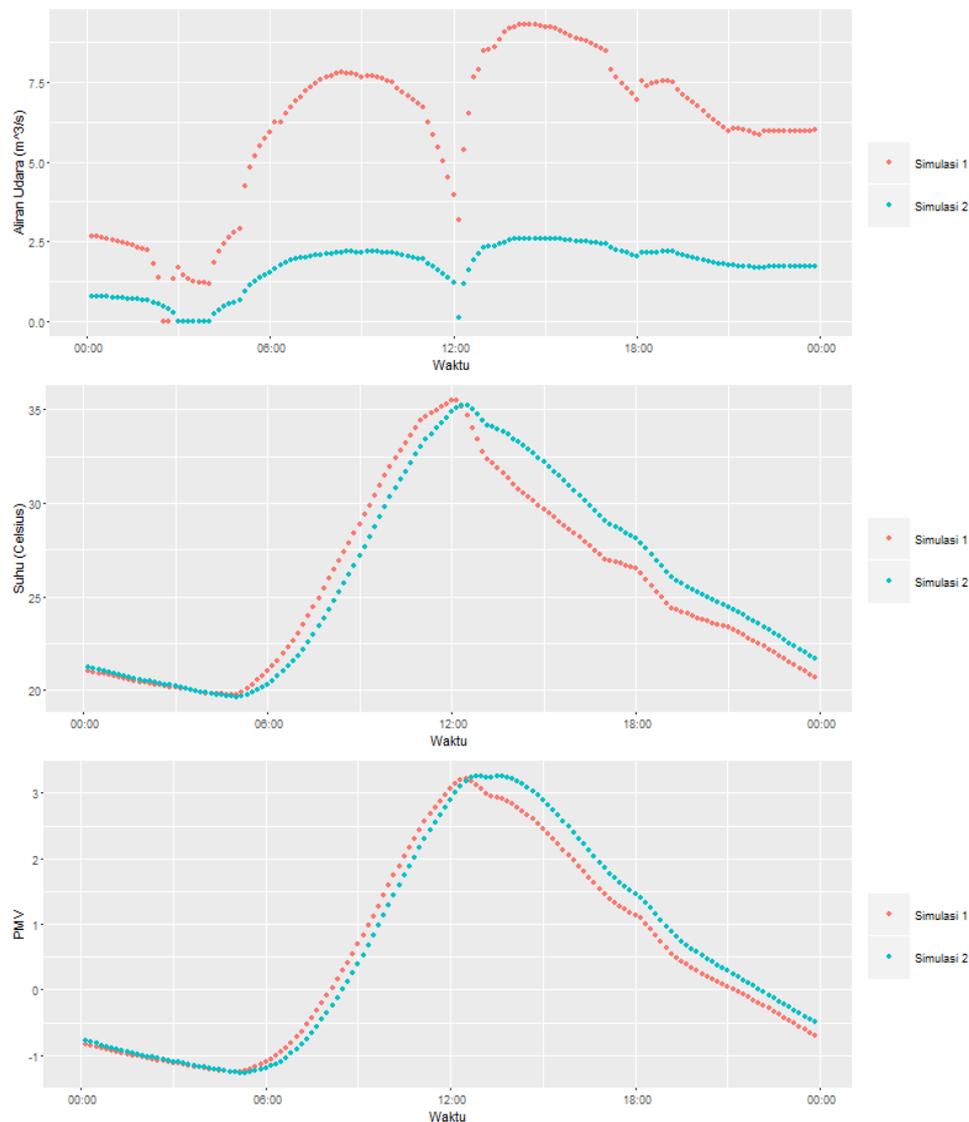
3.4.3 Aliran Udara Dalam Bangunan

Pada Gambar 3.8 dapat dilihat hasil simulasi pertama dan kedua yaitu data aliran udara pada model bangunan masjid dengan aliran udara tertinggi pada simulasi pertama adalah sebesar 9.31 m³/s dan yang

terendah adalah sebesar $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$, serta pada simulasi kedua aliran udara tertinggi adalah sebesar $2.60 \text{ m}^3/\text{s}$ dan yang terendah adalah sebesar $0.000035 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.4.4 Kenyamanan Termal Ruangan

Pada Gambar 3.8 juga dapat dilihat grafik data suhu dan kenyamanan termal (nilai PMV) hasil simulasi pertama dan kedua. Suhu pada simulasi yang pertama berada pada rentang 19.76° C hingga 35.51° C dan pada simulasi yang kedua pada rentang 19.64° C hingga 35.21° C . Nilai PMV tertinggi pada simulasi pertama adalah sebesar 3.21 (panas) dan yang terendah adalah sebesar -1.26 (agak sejuk) serta pada simulasi yang kedua nilai PMV tertinggi adalah sebesar 3.26 (panas) dan yang terendah adalah sebesar -1.26 (agak sejuk).



Gambar 3.8 Grafik aliran udara, suhu dan kenyamanan termal pada studi kasus 3.

4. Simpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan pemodelan bukaan untuk ventilasi alami pada tiga studi kasus dengan menggunakan model *AirflowNetwork* pada perangkat lunak *EnergyPlus*. Objek penelitian pada tugas akhir ini adalah bangunan Belgian PASSYS cell, bangunan kotak dan bangunan masjid. Berdasarkan studi kasus kedua, bukaan tipe *casement* menghasilkan aliran udara tertinggi sedangkan bukaan tipe *hung*, *sliding* dan *hopper* menghasilkan aliran udara terendah. Pada model bangunan masjid telah dilakukan pemodelan bukaan dengan dua simulasi yang berbeda, aliran udara dalam bangunan masjid mengalami penurunan seiring dengan pengurangan bukaan yang didefinisikan. Kenyamanan termal model bangunan kotak berada pada rentang -1.04 sampai 2.22 dan pada model bangunan masjid berada pada rentang -1.26 sampai 3.26.

5. Referensi

- [1] K. Tri H., *Arsitektur Tropis: Bentuk, Teknologi, Kenyamanan, dan Penggunaan Energi*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, “Sistem Pengkondisian Udara & Ventilasi (Panduan Pengguna Bangunan Gedung Hijau Jakarta Berdasarkan Peraturan Gubernur No. 38/2012).” Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, 2012.
- [3] S. Prasasto, *Fisika Bangunan*, 1st ed. Yogyakarta: Penerbit ANDI, 2008.
- [4] E. David, *Natural Ventilation of Buildings Theory Measurement and Design*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd., 2012.
- [5] Standar Nasional Indonesia, “Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung (SNI 03-6572-2001).” Badan Standardisasi Nasional, 2001.
- [6] D. Ery, H. J.L.M., dan L. M.G.L.C., “Towards a Strategy for Airflow Simulation in Building Design,” in *Proceedings of the 8th International conference on Air Distribution in Rooms-Roomvent 2002*, Copenhagen, Denmark, 2002.
- [7] U.S. Department of Energy, “Input Output Reference (EnergyPlus Version 8.6 Documentation).” EnergyPlus, 30-Sep-2016.
- [8] Z. JL, Z. GQ, M. ZJ, dan D. QH, “A Review of The Concept of Discharge Coefficient for Designing Natural Ventilation in Buildings,” in *Indoor Air 2005*, 2005, hal. 3127–3131.
- [9] M. Fuller, *Environmental Control Systems*. United States of America, 2004.
- [10] S. Eddy, “Kenyamanan Termal Indoor pada Bangunan di Daerah Beriklim Tropis Lembab,” *Indones. Green Technol. J.*, vol. 1, no. Kenyamanan Termal, hal. 13–19, 2012.
- [11] G. Lixing, “Airflow Network Modeling in EnergyPlus,” *10th Int. Build. Perform. Simul. Assoc. Conf. Exhib.*, no. Building Simulation, hal. 964–971, Sep 2007.
- [12] U.S. Department of Energy, “Getting Started (EnergyPlus Version 8.6 Documentation).” EnergyPlus, 30-Sep-2016.