

PEMODELAN BUKAAN ANGIN UNTUK SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD)*

WIND OPENING MODELING FOR COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD) SIMULATION

Hendrawan Nursulistiyono¹, Dr. Ery Djunaedy, S.T., M.Sc. ², Dr. Wahyu Sujatmiko, S.T., M.T. ³

Dr. Eng. Amaliyah R.I.U., S.T., M.Si.⁴

^{1,2,3,4}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

delldesta@gmail.com¹, erydjunaedy@gmail.com², wsujatmiko@yahoo.com³,
amaliyahriu@telkomuniversity.ac.id⁴

Abstrak

Kenyamanan ruangan merupakan unsur penting yang di harapkan pada sebuah ruangan. Terdapat beberapa faktor penting yang mempengaruhi kenyamanan, salah satunya sirkulasi udara pada ruangan. Masukan udara pada ruangan diantaranya dihasilkan dari bukaan jendela. Oleh karena itu, di perlukannya pengukuran aliran udara pada bukaan untuk memastikan besar kecepatan udara yang memasuki ruangan agar dapat dilihat profil persebarannya. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan bukaan angin dengan dua batasan yang berbeda. Pada batasan pertama akan mensimulasikan 14 jenis bukaan yang diletakkan pada terowongan angin, dengan tujuan untuk mengetahui profil kecepatan yang terletak pada bukaannya, sedangkan pada keadaan kedua akan mensimulasikan aliran udara pada ruangan dengan masukan berupa hasil dari profil kecepatan simulasi pada batasan pertama. Kedua kondisi tersebut disimulasikan menggunakan metode CFD dengan mesin OpenFOAM (Open Field Operation And Mmanipulation). Simulasi tersebut berupa pemodelan aliran udara luar ruangan (Outdoor Airflow) dan pemodelan aliran udara dalam ruangan (Indoor Airflow). Telah dihasilkan perumusan metode konfigurasi model bukaan angin untuk simulasi CFD, Dihasilkan model untuk 14 jenis bukaan antara lain : bukaan atas 150, bukaan atas 300, bukaan bawah 150, bukaan bawah 300, bukaan kanan 150, bukaan kanan 300, bukaan kiri 150, bukaan kiri 300, louver 150, 300, 450, 600, 750 dan 900. Dengan proses memastikan kondisi profil kecepatan (Fix Profile) bukaan pada bangunan di dalam terowongan angin (wind tunnel) sama dengan kondisi kecepatan di ruangan pada simulasi aliran udara dalam ruangan.

Kata Kunci: CFD, Airflow, Louver, Wind Tunnel, Model Bukaan, OpenFOAM

Abstract

Room comfort is an important element that is expected in a room. There are some important factors that affect comfort, one of them is air circulation in a room. Air inflow in a room among others is generated by window louvre. Therefore, air flow measurement is needed on louvres to ensure how quick the air velocity entering the room, so that the spread profile can be examined. In this research louvre modeling is done with two different parameters. The first parameter will simulate 14 louvre types that has been placed in a wind tunnel with the intention of finding out velocity profile in the louvre, meanwhile the second parameter will simulate airflow in a room with the first parameter's velocity profile result as the input. Both conditions can be simulated with CFD using OpenFOAM (Open Field Operation And Manipulation). That simulation is an outdoor room airflow modeling (Outdoor Airflow) and indoor room airflow modeling (Indoor Airflow). formulation of wind opening model configuration method for CFD simulation has been formulated, It is then generated 14 louvre models : top hung window 150, top hung window 300, bottom hung window 150, bottom hung window 300, right hung window 150, right hung window 300, left hung window 150, left hung window 300, louver 150, 300, 450, 600, 750 and 900. With the process to ensure that louvre velocity profile (Fix Profile) in a building inside the wind tunnel equals with the velocity condition in a room in the indoor air simulation.

Keywords: CFD, Airflow, Louvre, Wind Tunnel, Louvre Model, OpenFOAM

1. Pendahuluan

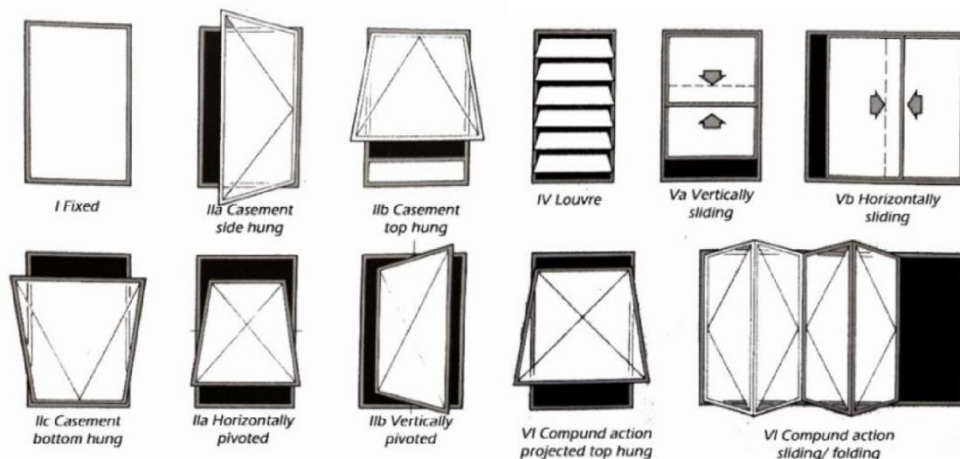
Kondisi termal lingkungan dalam ruangan kita memiliki pengaruh besar pada kenyamanan, kesehatan dan produktivitas. Salah satu faktor utama dalam aspek ini adalah efisiensi efektivitas sistem pengkondisian udara [1]. Rancang bangun berupa model sebelum dilaksanakan pembangunan, sering dijadikan pilihan untuk menekan biaya sebelum realisasi, dengan menjadikan model tersebut sebagai sampel dari ekspektasi sebuah bangunan yang akan dibuat. Masukan udara pada ruangan diantaranya dihasilkan dari bukaan jendela. Oleh karena itu di perlukannya pengukuran

aliran udara pada bukaan untuk memastikan besar kecepatan udara yang memasuki ruangan agar dapat dilihat profil persebarannya. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan bukaan angin dengan dua batasan yang berbeda. Pada batasan pertama akan mensimulasikan 14 jenis bukaan, antara lain : bukaan atas 150, bukaan atas 300, bukaan bawah 150, bukaan bawah 300, bukaan kanan 150, bukaan kanan 300, bukaan kiri 150, bukaan kiri 300, louver 150, 300, 450, 600, 750 dan 900. Model bukaan yang digunakan sesuai SNI 03-0675-1989 (0.6 x 1.5m) dan standar louver internasional [2][3]. Bukaan angin merupakan bidang yang didefinisikan sebagai masukan angin (inlet), dan keluaran angin (outlet) yang berfungsi sebagai pengendali kinerja termal bangunan. Pemodelan bukaan ialah proses membuat bukaan dalam berbagai tipe inlet dan outlet secara umum. Hingga saat ini belum ada yang berusaha merumuskan bagaimana memodelkan berbagai konfigurasi bukaan itu, sehingga kinerja termal bangunan dapat diprediksikan sejak awal tahap perancangan. Maka dari itu, diperlukannya perumusan metode konfigurasi model bukaan angin dengan menggunakan simulasi CFD. Penelitian ini menggunakan mesin CFD berupa OpenFOAM. Tata letak dan orientasi bukaan inlet tidak hanya mempengaruhi kecepatan udara, tetapi juga pola aliran udara dalam ruangan, sedangkan lokasi outlet hanya memiliki pengaruh kecil dalam kecepatan dan pola aliran udara [1][4]. Posisi inlet dan outlet bukaan terdiri menjadi 3 yaitu : berhadapan, bersebelahan dan pada sisi yang sama. Posisi bukaan yang baik terletak pada sisi yang berbeda dalam ruangan sehingga memberi peluang udara dapat mengalir masuk dan keluar yang sering disebut Cross Ventilation[5]. Tugas akhir ini akan merumuskan bagaimana memodelkan bukaan angin yang terdapat di bangunan rumah serta menentukan parameter apa saja yang berpengaruh, seperti orientasi bukaan terhadap arah angin, rasio bukaan, jenis bukaan serta tataletak bukaan secara CFD.

Landasan Teori

2.1 Bukaan angin

Bukaan sangatlah berpengaruh terhadap upaya pemanfaatan angin dalam pengkondisian ruangan. Pengendali laju aliran pada inlet akan menentukan arah gerak dan pola udara dalam ruang, sehingga perbedaan bentuk pengarah akan memberikan pola aliran udara yang berbeda-beda [6].



Gambar 2.1 Jenis-jenis bukaan
(Sumber: Beckett et al., 1974)

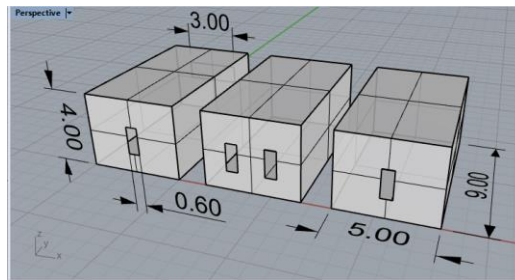
Standar ini diberlakukan terhadap kinerja peralatan dan komponen sesuai kriteria penggunaan energi yang efektif untuk instalasi baru dan penggantian peralatan dan komponen sistem ventilasi dan pengkondisian udara. Ventilasi alami terjadi karena adanya perbedaan tekanan di luar suatu bangunan gedung yang disebabkan oleh angin dan karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terdapat gas-gas panas yang naik di dalam saluran ventilasi sesuai dengan SNI 03-6572-2001[7]. Di Indonesia banyak sekali tipe-tipe bukaan yang umum digunakan bukaan tipe engsel atas (top hung), engsel bawah (bottom hung), engsel samping (side hung) dan jendela berkisi-kisi (louvre). Macam jendela yang digunakan sebagai penghalang masuknya udara dari lingkungan (wind tunnel) kedalam ruangan.

2.2 Model dan Simulasi

Model merupakan representasi dari bentuk aslinya, atau bentuk yang diinginkan. Modeling atau pemodelan merupakan proses membuat model. Simulasi merupakan proses peniruan dari sesuatu yang nyata atau yang diinginkan, beserta keadaan kondisi batas disekelilingnya. Simulasi merupakan metode proses perancangan model dari kondisi nyata dilapangan[8]. Banyak tujuan yang mendorong penggunaan model simulasi digunakan, bisa dari segi promosi produk hingga media penelitian, seperti merepresentasikan sistem dalam perubahannya terhadap waktu. Simulasi dapat dilakukan sebagai alat rancang, analisa dan menilai sistem [1].

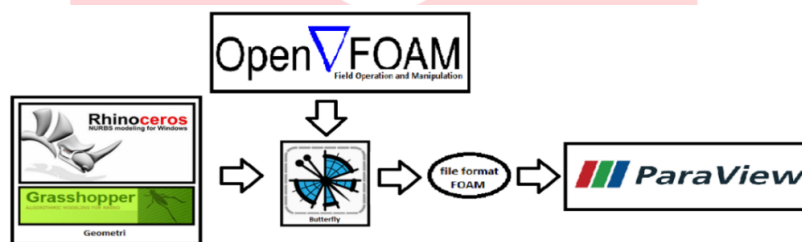
2.3 Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD berfungsi sebagai pemberi ilustrasi, bagaimana distribusi laju aliran fluida dalam bangunan. Beberapa study kasus yang mampu memastikan informasi pola profil kecepatan terhadap jarak. Bukaan angin adalah bidang yang didefinisikan sebagai masukan angin atau inlet, dan keluaran angin atau outlet yang berfungsi sebagai pengendali kinerja termal bangunan. CFD bekerja secara matematis dengan beberapa faktor seperti kelayakan, kecepatan komputasi dan fleksibilitas.



Gambar 2.2 Posisi bukaan pada bangunan

Perangkat lunak Rhinoceros digunakan sebagai program pemodelan 3D dalam dunia industri digunakan untuk memecahkan masalah pertimbangan perakitan, ergonomi, estetika dan manufaktur. Di dunia desainer dan arsitek digunakan sebagai kontrol terhadap efek visual seperti pencahayaan [9]. Perangkat lunak ini mampu mentransformasikan gagasan dan ide seorang desainer yang sering kali muncul dan harus dituangkan secara spontan. Ekstensi yang digunakan meliputi Grasshopper dan Butterfly yang terdapat dalam program rhinoceros sebagai dasar pembuatan geometri. CFD memberikan kemungkinan peramalan perilaku aliran yang dapat diandalkan dalam bentuk bukaan-bukaan seperti dalam penelitian ini sebagai alat desain bangunan. Hasil dari simulasi CFD pada Rhino dan OpenFOAM berupa profil kecepatan pada bangunan.



Gambar 2.3 Diagram alir perangkat lunak yang digunakan

2.4 Geometri

Cabang matematika berupa sifat-sifat garis, sudut, bidang, dan ruang. Titik mendefinisikan posisi (tempat) pada ruang yang memiliki panjang tanpa memiliki tebal [6].

2.5 Boundary Condition (kondisi batas)

Kondisi batas pada simulasi CFD memberikan batasan-batasan syarat yang harus dipenuhi pada simulasi, beda jenis simulasi memiliki kondisi batas yang berbeda, dan bisa ditambahkan atau dikurangi sesuai kebutuhan simulasi [10].

2.6 Outdoor Airflow

Simulasi aliran udara luar merupakan pemodelan yang mensimulasikan fluida melewati jenis bukaan pada bangunan. Bangunan tersebut diletakkan pada terowongan angin dengan tujuan untuk mengetahui profil kecepatan di dalam bangunan. Kondisi batas pada simulasi Outdoor Airflow meliputi: adanya terowongan angin (wind tunnel) atau kondisi udara di lingkungan, geometri bukaan harus terbuka sesuai kebutuhan simulasi, dan geometri bangunan didefinisikan dengan ketebalan.

2.7 Indoor Airflow

Simulasi aliran udara dalam merupakan simulasi yang mensimulasikan fluida melewati jenis bukaan pada bangunan. Kondisi batas pada simulasi Indoor Airflow meliputi: tidak memiliki terowongan angin (wind tunnel), dimana kondisi batas persebaran kecepatan terletak pada bangunan yang disimulasikan, geometri bukaan tertutup rapat dan geometri bangunan didefinisikan tanpa ketebalan. Input udara terletak pada bukaan yang didefinisikan.

2.8 Fixed Profile Boundary Condition

Kondisi batas ini memberikan kondisi profil nilai tetap [11]. Nilai tetap untuk data input profil kecepatan terhadap ketinggian bukaan, bisa diterapkan dalam simulasi dengan melihat 3 parameter yaitu, fungsi profil, arah profil, dan origin profil (asal profil).

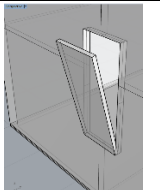
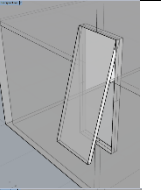
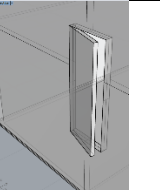
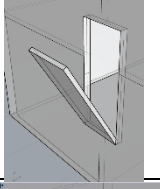
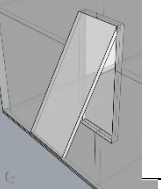
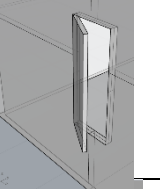
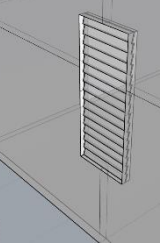
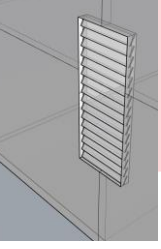
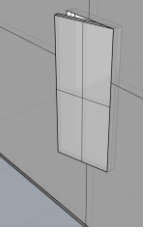
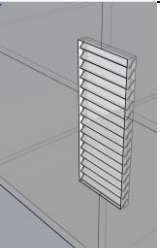
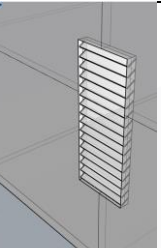
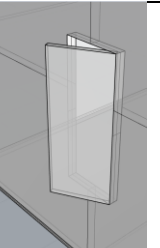
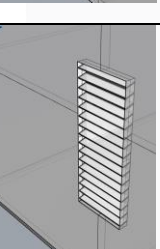
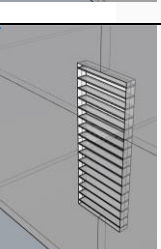
Metodologi penelitian

3.1 Objek Penelitian

Perancangan geometri yang disesuaikan untuk investigasi aliran udara yang melewati bukaan pada bangunan, sebagai ventilasi alami bangunan daerah tropis dalam bentuk sederhana (kotak).

Geometri yang digunakan pada simulasi outdoor berupa ruang berukuran 5m x 9m x 4m dengan ketebalan dinding 0.2m. Bukaan didefinisikan sesuai dengan tipe bukaan yang digunakan. Penelitian ini sudah mencoba untuk mensimulasikan bukaan dalam beberapa tipe dengan ketebalan 0.05m.

Tabel 3.1 Geometri yang digunakan dalam outdoor airflow

Bukaan	Geometri Outdoor	Bukaan	Geometri Outdoor	Bukaan	Geometri Outdoor
Atas 15 ⁰		Bawah 15 ⁰		Kanan 15 ⁰	
Atas 30 ⁰		Bawah 30 ⁰		Kanan 30 ⁰	
Louvre 15 ⁰		Louvre 30 ⁰		Kiri 15 ⁰	
Louvre 45 ⁰		Louvre 60 ⁰		Kiri 30 ⁰	
Louvre 75 ⁰		Louvre 90 ⁰			

3.2 Simulasi

Perancangan geometri untuk investigasi bukaan bangunan menggunakan perangkat lunak CFD secara berhadapan (Cross Ventilation). Simulasi dilakukan dalam dua jenis simulasi tahapan berupa outdoor airflow dan indoor airflow yang menggunakan mesin CFD OpenFOAM.

1. Simulasi Outdoor.

Geometri dibuat di perangkat lunak Rhino yang di definisikan kedalam grasshopper, dengan input konfigurasi berupa kecepatan udara 6m/s [10], dan gridding yang akan membantu tahap meshing ruangan dalam penelitian ini sudah mencoba 15x percobaan dan mendapat konfigurasi gridding 5x5 untuk komputasi meshing optimal. Pada simulasi ini digunakan parameter input 6m/s yang di dapat dari hasil percobaan yang sudah di coba lebih dari 50x percobaan. Input parameter kecepatan dapat diubah sesuai dengan kebutuhan simulasi (meliputi letak geografis dan kondisi lingkungan untuk dimodelkan). Tabel 3.3 menunjukkan ukuran wind tunnel dari konfigurasi geometri dan inisialisasi wind tunnel, dilanjutkan proses meshing, yang dibagi menjadi 2 tahap yaitu Blockmesh dan SnappyHexMesh. Blockmesh berfungsi sebagai meshing secara global, atau meshing tahap awal pada simulasi CFD, yang bisa diatur besar-kecilnya dari potongan awal berapa meter dari bangunan yang digunakan[10]. Penelitian ini sudah melakukan lebih dari 30x percobaan dan menentukan besar RefinementLevel optimal dari blockmesh (2, 4) dari hasil percobaan, sehingga menghasilkan jumlah cell (cellsize) yang terbentuk menerupai model yang digunakan [10][16]. SnappyHexMesh merupakan meshing secara spesifik, dimana didalamnya terdapat sistem snap dan castelated yang

berpengaruh dalam menghaluskan bentuk dari meshing [10]. Semakin rumit (detail) model yang disimulasikan, semakin lama dan semakin berat proses meshing. Proses selanjutnya adalah kerja (running) simulasi yang membutuhkan waktu antara 1-7 jam untuk masing-masing tipe bukaan pada simulasi Outdoor. Tugas akhir ini sudah dilakukan percobaan lebih dari 100x kerja simulasi, demi menemukan komposisi yang tepat untuk bermacam tipe bukaan. Kondisi batas lain berupa jumlah komputasi yang membutuhkan semakin banyaknya processor yang digunakan, semakin cepat tugas simulasi diselesaikan. Hasil simulasi pada $c:\Users\<user>\butterfly\<file_name>\system\controlDict$ dianalisis melalui program ParaView, untuk melihat secara visual adanya nilai kecepatan yang masuk dalam ruangan dari wind tunnel, serta pengambilan data kecepatan dari simulasi CFD. Data kecepatan diolah dari vektor kecepatan menjadi skalar (magnitude). Menghasilkan grafik kecepatan terhadap ketinggian bukaan. Profil kecepatan dijadikan input dari simulasi Indoor airflow.

2. Indoor airflow

Membuat geometri lagi dengan dimensi yang sama (5m x 9m x 4m), namun tanpa ketebalan, geometri didefinisikan kedalam grasshopper, dengan input berupa file data profil kecepatan. Masukan kondisi batas simulasi, meshing dan solusi. Data simulasi diolah kembali menggunakan perangkat lunak paraview untuk menampilkan persebaran kecepatan di titik tertentu. Hasil simulasi dilihat dari distribusi pada simulasi yang digunakan. Konfigurasi pada bangunan untuk outdoor dan indoor berbeda dalam CFD.

3.3 Analisis Data dan Pembahasan.

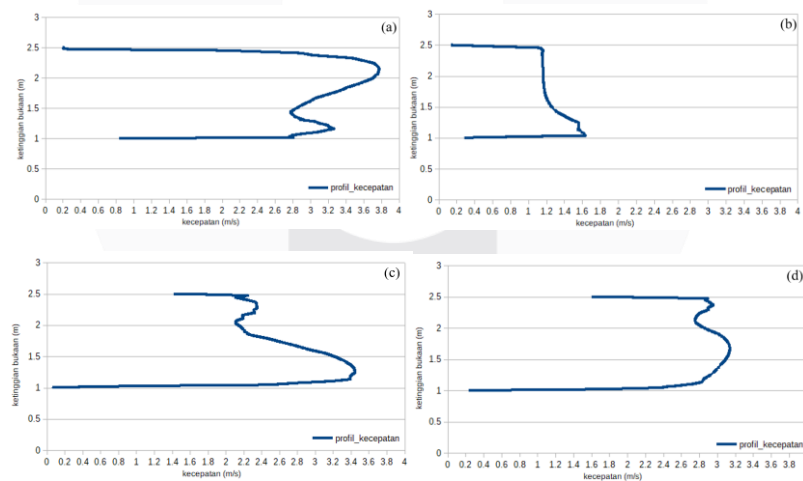
Data yang didapat dari simulasi *outdoor* adalah nilai kecepatan dengan bermacam bukaan bangunan terhadap ketinggian bukaan. Data yang didapat diolah dari nilai vektor ke skalar (*magnitude*). Nilai kecepatan *magnitude* di koordinat yang diambil dari bukaan adalah profil kecepatan. Profil kecepatan tersebut digunakan sebagai parameter masukan pada simulasi *indoor*. Hasil Tugas akhir ini menunjukkan perumusan metode konfigurasi model bukaan angin untuk simulasi CFD. Dengan proses memastikan kondisi profil kecepatan (*Fix Profile*) bukaan pada bangunan di dalam terowongan angin (*wind tunnel*) sama dengan kondisi kecepatan di ruangan pada simulasi aliran udara dalam ruangan (*indoor*).

4. Analisis dan Hasil

4.1 Hasil Simulasi

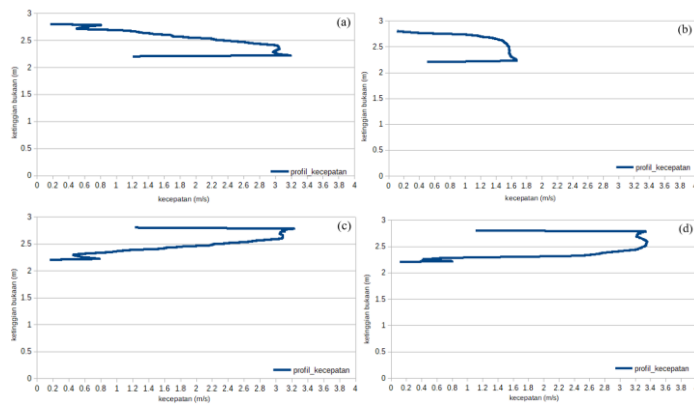
4.1.1 Pemodelan CFD Outdoor Airflow

Geometri pemodelan bukaan angin dengan 14 model bukaan sudah melalui tahap *meshing*, Data *meshing* yang dilakukan untuk ke-14 tipe bukaan masing-masing memerlukan waktu 28-45 menit. Proses kerja simulasi membutuhkan waktu antara 1-7 jam untuk masing-masing tipe bukaan yang digunakan. Tugas akhir ini sudah melakukan lebih dari 100x kerja simulasi dengan gagal dan coba lagi hingga menemukan komposisi dan data sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Profil kecepatan udara terhadap ketinggian bukaan atas 15⁰(a), bukaan atas 30⁰(b), bukaan bawah 15⁰(c) dan bukaan bawah 30⁰(d)

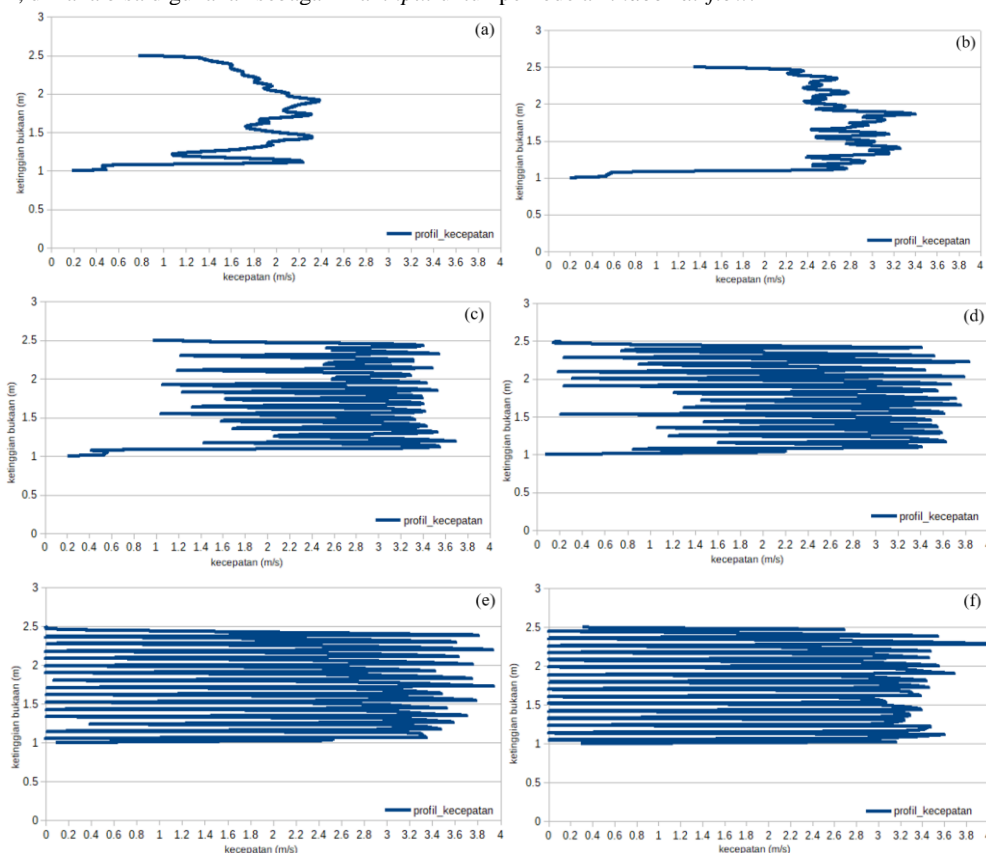
Gambar 4.1 menampilkan profil kecepatan udara memasuki ruang an melalui bukaan atas 15⁰(a), bukaan atas 30⁰(b), bukaan bawah 15⁰(c) dan bukaan bawah 30⁰(d). Pengambilan data profil kecepatan dimulai dari titik tengah bukaan, pada posisi tengah bukaan secara vertikal (0,3m), diukur mulai ketinggian secara vertikal (1 - 2,5m), dari bagian bawah ke bagian atas bukaan. Grafik profil kecepatan diatas menunjukkan pola kecepatan udara pada setiap titik dibukaan,data yang diambil adalah 15.000 titik, dimana bisa digunakan sebagai nilai *input* untuk pemodelan *indoor airflow*.



Gambar 4.2 Grafik Profil kecepatan udara terhadap lebar bukaan kanan 15⁰(a), bukaan kanan 30⁰(b), bukaan kiri 15⁰(c) dan bukaan kiri 30⁰(d)

Gambar 4.2 menampilkan profil kecepatan udara memasuki ruang an melalui bukaan kanan 15⁰(a), bukaan kanan 30⁰(b), bukaan kiri 15⁰(c) dan bukaan kiri 30⁰(d). Pengambilan data profil kecepatan dimulai dari titik tengah bukaan, pada posisi tengah bukaan secara horizontal (0,75m), diukur mulai ketinggian secara vertikal (1-2,5m), dari bagian bukaan kesisi samping yang lain dari bukaan yang sama. Grafik diatas menunjukkan nilai dari profil kecepatan terhadap lebar bukaan, pada ketinggian 1,75 dari lantai bangunan (1m ketinggian jendela ditambah titik tengah dari ketinggian jendela 0.75m). Nilai 2,2 hingga 2,8 m didapat dari lebar bangunan dari titik 0 hingga bukaan 2,2m ditambah 0,6m adalah lebar dari bukaan yang digunakan (sesuai SNI 03-0675-1989[2]).

Grafik profil kecepatan diatas menunjukkan pola kecepatan udara pada setiap titik dibukaan, data yang diambil adalah 6000 titik, dimana bisa digunakan sebagai nilai *input* untuk pemodelan *indoor airflow*.



Gambar 4.3 Grafik Profil kecepatan udara terhadap ketinggian bukaan louver 15⁰(a), louver 30⁰(b) , louver 45⁰(c), louver 60⁰(d) , louver 75⁰(e) dan louver 90⁰(f).

Gambar 4.3 menampilkan profil kecepatan udara memasuki ruang an melalui bukaan louver 15⁰(a), louver 30⁰(b) , louver 45⁰(c), louver 60⁰(d) , louver 75⁰(e) dan louver 90⁰(f). Pengambilan data profil kecepatan dimulai dari titik tengah bukaan, pada posisi tengah bukaan secara vertikal (0.3m), diukur mulai ketinggian secara vertikal (1 - 2,5m), dari bagian bawah ke bagian atas bukaan. Grafik profil kecepatan diatas menunjukkan pola kecepatan udara pada setiap titik dibukaan, data yang diambil adalah 15.000 titik, dimana bisa digunakan sebagai nilai *input* untuk pemodelan *indoor airflow*.

4.1.2 Pemodelan CFD Indoor Airflow

Indoor Airflow pada tugas akhir ini mendefinisikan geometri bangunan dengan skala yang sama, namun tidak memiliki ketebalan, dan bangunan dibuat rapat, pada *input* dan *output* parameter didefinisikan terpisah dari geometri bukaan. Pada bukaan yang didefinisikan vertikal dengan ukuran dan tempat yang sama dengan geometri outdoor, diberikan *input* profil kecepatan berupa data yang sudah diolah. Pengolahan data dilakukan dari mencari nilai skalar dari kecepatan vektor XYZ pada bukaan, dan didefinisikan menjadi input bukaan di simulasi *indoor*. Tahap meshing, running simulasi dan analisis dengan *input* kecepatan pada bukaan bukan hanya asumsi dari kecepatan dilingkungan, tetapi *input* bukaan sudah dalam bentuk profil kecepatan. dengan begitu simulasi bukaan memenuhi 3 kondisi yaitu: kecepatan di lingkungan, kecepatan di bukaan, dan kecepatan di dalam ruangan. Tugas akhir ini sudah melakukan 20x kerja (*running*) simulasi dengan gagal dan coba lagi hingga menemukan komposisi dan 14 data bukaan Profil kecepatan sebagai input dari simulasi *indoor airflow*, yang artinya dengan melakukan metode dari pembuatan geometri hingga keluarnya profil kecepatan terhadap ketinggian bukaan yang selanjutnya dilakukan sebagai input untuk simulasi *indoor airflow*, sudah sesuai dengan tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini, yaitu menentukan konfigurasi model bukaan angin, untuk digunakan dalam simulasi CFD dengan Tipe bukaan, kecepatan udara di wind tunnel masuk ke bangunan dari profil kecepatan. Pendefinisian profil kecepatan dengan pengambilan 1 titik secara vertikal yang ditarik dari ketinggian bukaan 1-2,5m. Kondisi batas *Fixed profile* memberikan kondisi profil nilai tetap [11, hal.31]. Nilai tetap untuk data input profil kecepatan terhadap ketinggian bukaan, bisa di terapkan dalam simulasi dengan melihat 3 parameter yaitu,

- fungsi profil, selaku profil kecepatan terhadap tingi bukaan,
- arah profil, selaku arah bukaan mauknya udara kedalam ruang dan
- origin profil (asal profil) selaku vektor kecepatan dirubah menjadi skalar (magnitude)

Parameter *Fixed Profile* mampu digunakan di bermacam tipe bukaan sehingga bisa digunakan sebagai parameter perbaikan kondisi dari simulasi CFD.

Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah Telah dihasilkan perumusan metode konfigurasi model bukaan angin untuk simulasi CFD. Dhasilkan model untuk 14 jenis bukaan antara lain : bukaan atas 15⁰, bukaan atas 30⁰, bukaan bawah 15⁰, bukaan bawah 30⁰, bukaan kanan 15⁰, bukaan kanan 30⁰, bukaan kiri 15⁰, bukaan kiri 30⁰, louver 15⁰, 30⁰, 45⁰, 60⁰, 75⁰ dan 90⁰.

Dengan proses memastikan kondisi profil kecepatan (*Fix Profile*) bukaan pada bangunan di dalam terowongan angin (*wind tunnel*) sama dengan kondisi kecepatan di ruangan pada simulasi aliran udara dalam ruangan.

5.2 Saran

1. Hasil Tugas Akhir ini bisa digunakan menjadi referensi rancang bangun model bukaan pada segala bangunan dengan memperhatikan logika dan analogi yang di terapkan pada seluruh proses dan kondisi batas dalam Tugas Akhir ini.
2. Perlu di tambahkan beberapa titik pengambilan profil kecepatan, tidak hanya pada posisi tengah (0.3m) dari bukaan yang diambil profil kecepatannya secara vertikal (ketinggian 1-2,5m), demi hasil simulasi yang mendekati kondisi nyata dilapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] KWD Cheong, E Djunaedy, YL Chua, KW Tham, SC Shekar, NH Wong, MB Ullah THERMAL COMFORT STUDY OF A LECTURE THEATRE ENVIRONMENT – A CASE STUDY APPROACH. 2003. Department of Building School of Design and Environment - National University of Singapore.
- [2] SNI 03-0675-1989. Ukuran bangunan rumah dan gedung standart, kayu, kusen jendela kayu, daun pintu kayu dan daun jendela kayu untuk bangunan rumah dan gedung.
- [3] Louvre Windows Standard Sizes. QUEENSLAND. AS2047-2014.
- [4] KWD Cheong, E Djunaedy, TK Poh, KW Tham, SC Sekhar, NH Wong, MB Ullah MEASUREMENTS AND COMPUTATIONS OF CONTAMINANT'S DISTRIBUTION IN AN OFFICE ENVIRONMENT. 2003. Department of Building School of Design and Environment - National University of Singapore
- [5] Natural ventilation principles. <https://www.windowmaster.com/solutions/natural-ventilation/our-systems-and-technology>.
- [6] Anisa Budiani Arifah, M. Satya Adhitama2, Agung Murti Nugroh. Pengaruh Bukaan Terhadap Kenyamanan Termal Pada Ruang Hunian Rumah Susun Aparna Surabaya. Surabaya. Arsitektur - Fakultas Teknik - Universitas Brawijaya.
- [7] SNI 03-6572-2001 Tata cara perancangan sistem ventilasi dan pengkondisian udara pada bangunan gedung.
- [8] E Djunaedy, KWD Cheong Development of a Simplified Technique of Modelling Four-Way Ceiling Air Supply Diffuser. 2002. Department of Building School of Design and Environment - National University of Singapore.
- [9] Saputra, Sunarya Hadi. Solusi Praktis Pemodelan 3D menggunakan Rhinoceros 3.0 .2007. Jakarta. PT Alex Media Komputindo.
- [10] OpenFOAM The OpenFOAM Foundation - User Guide version 6. 10th July 2018 <https://openfoam.org>.
- [11] Boundary Conditions - OpenFOAM-4.1 . Open Source CFD Consulting.
- [12] Grasshopper. Algorithmic modeling for rhino <http://www.grasshopper3d.com/>
- [13] Food4Rhino. Apps for Rhino and Grasshopper <http://www.food4rhino.com/app/butterfly>
- [14] OpenFOAM. The Open Source CFD toolbox <https://www.openfoam.com/>
- [15] Toshikazu Nakanishi, Tamotsu Nakamura. Youichirou Watanabe, Katsumasa Handou, Takahiro Kiwata. Investigation of Air Flow passing through Louvers. 2007. KOMATSU TECHNICAL REPORT.
- [16] SnappyHexMesh guided tutorials. <https://tinyurl.com/snappyHexMesh-guided-tutorials>