

STUDI CFD DAN IN-SITU TERHADAP GERAKAN UDARA INTERIOR DARI EFEK PILIHAN MODEL JENDELA JUNGKIT

Bernard Harianja ^a, Eddy Prianto ^b, Wahyu Setiabudi ^c

^{a,b,c} Magister Teknik Arsitektur, Departemen Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Sudarto SH Tembalang Semarang 50131.

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel :

Diterima : 22 Agustus 2016

Disetujui : 27 Agustus 2016

Kata Kunci :

Simulasi CFD, In-situ, Jendela Jungkit, Kecepatan Udara, Arsitektural, Ecotect

ABSTRAK

Profil gerakan udara yang masuk dalam bangunan disebabkan banyak faktor element arsitektur, diantaranya adalah bentuk jendelanya. Pengamatan terkait ini telah banyak dilakukan, baik yang dilakukan secara manual di lapangan ataupun dilakukan dengan simulasi CFD.

Keakurasian suatu program simulasi dapat dibandingkan hasil pengukurannya dengan hasil pengamatan lapangan.

Pada tulisan ini memiliki dua tujuan, pertama, yaitu memvalidasi dan mengetahui tingkat keakuratan beberapa teknik pengamatan penelitian in-situ (obyek pemodelan dan obyek ruangan skala 1:1 dan pensimulasian dari program komputasi CFD Ecotect. Dan tujuan kedua adalah mengetahui efek bukaan jendela jungkit yang dilakukan dengan dua metode tersebut terhadap tingkat kecepatan udaradidalamnya.

Hasilnya dari pengamatan ini menunjukkan bahwa bahwa skala keakuratan alat ukur seharusnya diperbandingkan dengan tingkat kalibrasi tertentu dari suatu program simulasi. Sedangkan terkait aplikasi model bukaan jendela, ternyata pilihan jendela jungkit sudut 30° lebih direkomendasikan dari pada sudut 45°.

ARTICLE INFO

Article History :

Received : August 22, 2016

Accepted : August 27, 2016

Key words:

CFD (Computational Fluid Dynamics), in-situ experimentations, pivot-Window, architectural, Ecotect

ABSTRACT

Indoor air performance caused by architectural configurations such as type of window. Many investigations carried out by in-situ experimentations and used Computational Fluid Dynamics.

The accuracy of analysis method used a simulation programs could be compared to field experiment. This study has two objectives : firstly, to compare the result of in-situ investigations and the result of CFD Ecotect numerical simulation. Secondly, to find out the effect of pivoted window on indoor air movement by using two analysis methods.

This paper presents the result of field experiment and compares them to the result of numerical simulation. For all window models, pivoted window with angle of 30° more recommended than angle of 45°.

1. PENDAHULUAN

Menurut Prianto dalam desertasinya berjudul "*Modelisation des ecoulements et analyse architecturale de performances de l'espace habitable en climat tropical humide*" bahwa profil kecepatan udara dalam ruangan untuk mendapatkan kenyamanan termal ditentukan oleh parameter envelope bangunan (model jendela dan perletakan balkon) juga element arsitektur interiornya (bentuk plafond dan lantai) (Prianto, 2002). Penelitian tersebut dilakukan dengan program code-N3S, yaitu program yang dikembangkan oleh laboratorium LNH dan group peneliti dari EDF Perancis, semacam institusi PLN-nya Indonesia. Dan sejauh ini, untuk para kalangan akademis dan profesional di Indonesia telah mengenal CFD (*Computational Fluid Dynamics*) Ecotect versi 2013 (ecotect, 2008) (energycity, 2011)

Beberapa pengamatan terkait pergerakan udara dan metode penggunaan program CFD menjadi bahan kajian pula seperti perilaku pergerakan angin yang melewati bukaan-bukaan lebar suatu bangunan tinggi yang menggunakan system penghawaan alami pada bangunan gedung (Sangkertadi dan Suryono, 2001), (Jones dan Whittle, 1992), (Prianto, et all, 2001), (Kindangen et al, 1996, 1997, 2003), hingga efek pergerakan udara terkait dengan kenyamanan penghuni (Jhon, 2011), (Prianto, 2002), (Gagoek dan Sukawi, 2014). Dan beberapa pengamatan tentang bentuk bukaan, berupa jendela yang merupakan pelubangan inlet dalam bangunan dalam pengaruhnya terhadap pola sirkulasi udara juga menjadi bagian yang mendasari penulisan ini (Prianto, 2003), (Kementerian Kesehatan, 2013), (BSN, 2001).

Tulisan ini merupakan bagian dari penelitian tesis yang sedang kami selesaikan di program studi Magister Arsitektur di FT Universitas Diponegoro Semarang. Tema yang saya angkat adalah "*Pengaruh Luas bukaan Jendela dan Lubang Ventilasi Terhadap Laju dan Pola Aliran Udara terhadap Effisiensi Energi dalam gedung dengan bantuan simulasi CFD*" (Bernard et al, 2015). Dimana aspek lokasi, bahwa faktor iklim daerah tropis juga sangat menentukan profil udara dalam skala makro (Soegijanto, 1998).

Dalam kajian Building Science Arsitektur dikenal 3 (tiga) metode pengamatan, yaitu : Penelitian In-situ, Pemodelan dan Simulasi. Menggaris bawahi peran pilihan model bukaan jendela, kami mencoba mengkaji kembali dengan mengoptimalkan model rumah miniatur yang ada di Departement Arsitektur Undip.

Terdapat dua tujuan yang ingin kami kaji dalam artikel ini, yaitu kajian validasi dan keakuratan beberapa teknik pengamatan yaitu: penelitian in-situ (obyek pemodelan dan obyek ruangan skala 1:1 dan pensimulasian dari program komputasi CFD Ecotect 2011. Sehingga diharapkan kita dapat mengetahui seberapa tingkat akurasi program Ecotect 2011- agar dalam aplikasi penggunaan program tersebut bermanfaat secara efektif dan effisien dari efek waktu, biaya dan tenaga serta diharapkan menumbuh kembangkan kreatifitas penngunanya, baik kepentingan penelitian ilmiah dan praktis oleh para akademisi, peneliti dan professional. Tujuan kedua adalah sejauh mana peran jendela jungkit 30 dan 45 dalam mendapatkan kecepatan dan pola udara yang maksimum. Dan kedua, manfaat validasi pengamatan ini dapat pula mengetahui

2. METODOLOGI PENELITIAN

Terdapat dua metode yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu dengan membandingkan beberapa hasil pengukuran terhadap kecepatan udara yang diukur langsung terhadap dua obyek yang berbeda dengan hasil simulasi kecepatan udara dari program simulasi CFD Ecotect 2011. Spesifikasi objek model dan data input yang akan digunakan untuk simulasi CFD tentunya memiliki kesamaan dan kesetaraan dengan objek dan data input di lapangan. Dan mengkaji hasil simulasi terhadap efek bukaan jendela jungkit 30° dan 45°.

Beberapa batasan dalam pengukuran in-situ adalah:

- a. Jenis sumber angin adalah angin buatan yang bersumber dari kipas angin dengan 3 (tiga) kecepatan yang dilakukan secara bergantian. Terdapat 3 variasi kecepatan yaitu:
 - Tipe 1 dengan kecepatan 1.8 m/detik,
 - Tipe 2 dengan kecepatan 2.8 m/detik,

- Tipe 3 dengan kecepatan 3.8 m/detik, Data kecepatan angin ini diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan kipas angin pada ruang tertutup dengan menggunakan Anemometer yang berjarak 50 m dari sumber angin.
- b. Arah hembusan kipas angin dibuat tegak lurus terhadap lubang jendela dengan jarak yang bervariasi.
- c. Jenis jendela adalah kaca berbingkai kayu dengan sistem bukaan jungkit sudut 30°.

Alat yang digunakan :

Beberapa alat yang digunakan dalam kegiatan pengamatan ini adalah :

- a. Untuk pengukuran lapangan menggunakan beberapa alat sebagai berikut :
 - **Hotwire Anemometer**, dapat digunakan untuk mengukur temperatur udara dan kecepatan udara di dalam ruangan dengan kecepatan minimum < 0.1 m/detik, merek alat ini adalah Krisbow KW06-653, 3 (tiga) unit

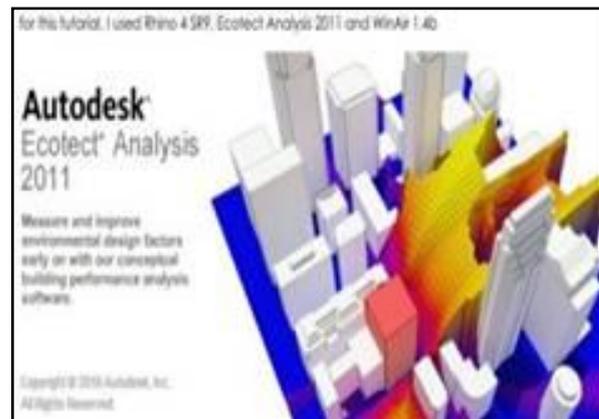


Gambar 01
Peralatan pengukuran in-situ

- **Anemometer 4 in 1**, dapat digunakan untuk mengukur temperature, kuat cahaya, kelembaban udara dan kecepatan angin di luar ruangan dengan kecepatan minimum > 0.1 m/detik, merek alat ini adalah Lutron LM-8000A.
- **Tiang penyangga/tripod**, digunakan untuk menyangga Hotwire Anemometer dengan tinggi maks + 2.5 meter, merek alat penyangga ini adalah Kohlt KMB 600.
- **Kipas angin**, digunakan untuk sumber angin input buatan dengan 3 (tiga) tipe kecepatan yang lebih konstan

dibandingkan angin alami yang besaran dan arah datangnya sangat dinamis-merek Sekai..

- **Laptop**, digunakan untuk menyimpan dan mentabulasi hasil pengukuran lapangan dan pelaporan.
- b. Untuk simulasi program CFD digunakan beberapa alat yaitu :
 - **Laptop Acer Aspire 47382**, yang telah terinstal program Ecotect 2011 dan program pendampingnya Windair 4.1b 2.007.



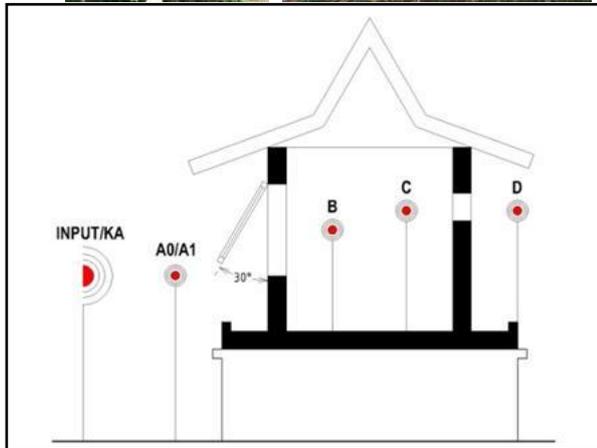
Gambar 02
Kelengkapan program simulasi : Program Ecotect 2011 (energycity, 2011) dan Windair 4.1b 2.007.

- c. Alat pendukung yaitu :
 - Kamera, HP Nokia 210, 1 (satu) unit,
 - Meteran (max 5 meter), D-Explore, 1 (satu) unit, Pisau cutter, kabel listrik, batteray alkalin untuk alat ukur dan obeng

Ruang Lingkup Penelitian

Terdapat 2 (dua) lokasi dan jenis objek pengukuran in-situ, yaitu :

- a. Rumah Model Hemat Energy (miniature)- ukuran 1.00 x 1.00 x 1.00 meter, pada Departemen Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Salah satu sarana/prasarana dari fasilitas laboratorium Teknologi Bangunan Arsitektur dimana Dr.Ir.Eddy Prianto, CES,DEA sebagai Ketua Laboratoriumnya.
- b. Ruang mono zone pada laboratorium Komputer pada Departemen Teknik Kimia D3 Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.



Gambar 03

Dua obyek model reel pengukuran in-situ (atas) dan sketsa penentuan titik ukur (bawah)

Serta terdapat 2 (dua) jenis metode pengukurannya, yaitu pengukuran in-situ dengan menggunakan alat ukur hotwire dan pengukuran dari hasil simulasi CFD Ecotect versi 2011.

Tahapan Penelitian

Terdapat 2 (dua) tahapan pengamatan, Pertama dilakukan untuk menjawab tujuan pertama, yaitu kami akan mengkaji /menvalidasi dan mengetahui keakuratan beberapa teknik pengamatan yang telah kami pilih : penelitian in-situ (obyek pemodelan dan obyek ruangan skala 1:1 dan pensimulasian dari program komputasi CFD Ecotect 2011. Sedangkan tahapan kedua, adalah menganalisis efek jenis bukaan jendela jungkit 30 dan 45 terhadap profil kecepatan udara dalam ruangan.

Spesifikasi teknis objek pengamatan terhadap obyek 2 ini dan tampilan visual untuk simulasi CFD adalah sebagai berikut:

- Jenis objek penelitian adalah ruang Laboratorium Komputer yang berukuran 3.50 m x 9.00 m dengan dinding terbuat dari pasangan batu bata, pintu dan jendela berventilasi atas serta sistem bukaan jendela jungkit bawah.

- Sumber angin input yang akan dicoba menggunakan kipas angin elektrik (A) dengan kecepatan 3.8 m/detik. Data kecepatan angin ini diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan kipas angin pada ruang tertutup dengan menggunakan Anemometer yang berjarak 0.50 m dari sumber angin.
- Metode penggunaan alat ukur Hotwire Anemometer menggunakan bantuan computer (labtop) untuk merekam kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam ruangan.
- Penempatan alat ukur kecepatan udara terdiri atas 3 variasi ketinggian yaitu 120 m, 1.50 m, 2.00 m dan jarak antar titik ukur adalah 0.50 m.
- Alat ukur yang langsung dihubungkan dengan labtop, maka data akan terekam langsung dalam computer.
- Pensimulasian obyek in-situ hanya tinggal menempatkan posisi bukaan jendela pada posisi 30°.
- Hasil rekam pengukuran kecepatan udara dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

Sedangkan spesifikasi data untuk program CFD Ecotect 2011.

- Tinggi permukaan bawah terowongan angin 0 m dari MT.
- Temperatur udara ditentukan berdasarkan hasil pengukuran lapangan yaitu, suhu luar 34.5°C, suhu ruang 28°C.
- Angka kekentalan udara (viscosity) ditentukan 1.8e-05.
- Berat jenis udara 1.2 kg/m³ dan angka Iterasi 30°0/50.
- Waktu rekam pengukuran untuk setiap titik ukur dan ketinggian ukur tertentu berlangsung selama 30 menit.



Gambar 04

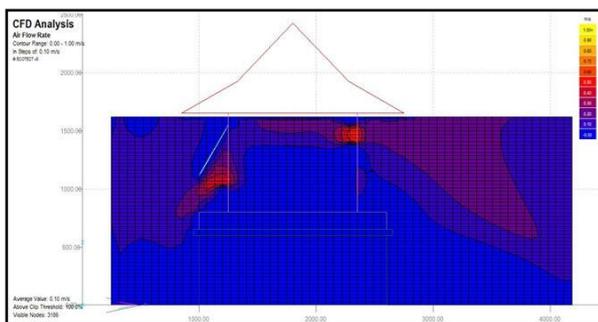
Skema persiapan pengukuran In-situ dan program CFD Ecotect 2011.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

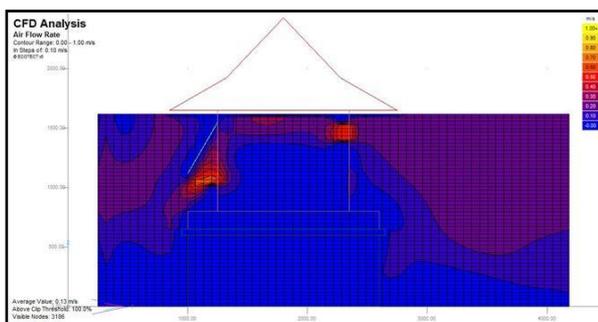
3.1. Pengukuran in-situ dengan hotwire – dengan cara 01

Yang dimaksud cara 01 adalah pengukuran profil kecepatan udara dalam ruangan dengan menggunakan obyek model rumah miniature dengan menggunakan peralatan ukur hotwire yang dilakukan secara manual (pengambilan titik ukur secara spot/titik waktu dan titik ukur). Kemudian kami lakukan perbandingan hasil ukurnya dengan menggunakan program CFD Ecotect 2011.

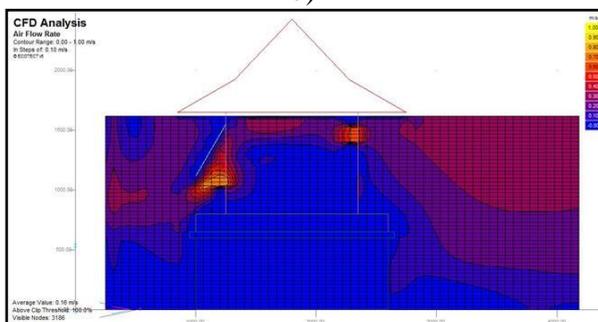
Hasil pengukurannya adalah sebagai berikut :



a)



b)



c)

Gambar 05

Visualisasi hasil simulasi CFD Ecotect dengan perbedaan kecepatan angin input : a) 1.8 m/detik, b) 2.8 m/detik dan c) 3.8 m/detik

Mencermati pola dan tingkat kecepatan udara yang terjadi didalam ruangan dari suatu sumber kecepatan 1.8 m/detik yang diletakkan pada jarak 0.50 m, dimananya letaknya dibagian eksterior bangunan / tepat tegak lurus dihadapan langsung jendela bukaan 30°, maka deskripsi pola dan tingkat kecepatan udaranya yang terjadi **dari hasil simulasi** adalah sebagai berikut :

Ketiganya memiliki pola yang serupa, dimana besaran kecepatan udara yang masuk yang terjadi tidaklah sebesar kecepatan udara dari kipas angin. Kecepatan terbesar hanya terjadi tepat pada space seputar inlet dan space seputar outlet serta seputar plafon.

Pola yang terjadi diseputar inlet, dari ketiga pengamatan hasil simulasi masing-masing mengalami penurunan : untuk kecepatan 1.8 m/detik menjadi 0.5 m/detik , untuk kecepatan 2.8 m/detik menjadi 0.8 m/detik untuk kecepatan 3.8 m/detik menjadi 1.2 m/detik atau rata-rata mengalami penurunan 70%. Artinya sumber udara berkecepatan berjarak 0.50 meter mengalami penurunan kecepatan tepat di inlet sebesar 70% - merupakan bilangan cukup besar tingkat pengurangan ini, apakah hal ini karena teknis pemilihan sumber angin (kipas angin) salah? Atau jarak sumber udara terlalu dekat untuk spesifikasi kipas angin. Artinya jenis kipas angin bisa dipakai sebagai sumber kecepatan udara sebesar tingkatan kecepatan kipas angin bila diberikan ‘corong’ atau ‘jarak minimal dari kipas tersebut. Kiranya fenomena kipas angin perlu ditindaklanjuti. Hipotesa awal, tentunya adanya turbulensi angin didepan kipas angin tersebut yang akan mencapai kecepatan sama pada jarak tertentu.

Pola sekitar outlet, karena demensinya lebih kecil dari inlet (0.60 m tinggi jendela dan 0.20 m tinggi outlet atau sekitar 60% lebih kecil), disini pulalah didapatkan kecepatan udara besar sekitar sama dengan kecepatan seputar inlet, yaitu mengalami penurunan sekitar 80%.

Pola sekitar plafond merupakan space dimana angin melintasi ruangan untuk kemudian keluar menuju outlet. Pola udara tidaklah langsung menyalang menuju outlet melewati tengah ruangan, justru udara berbelok/menyusuri dinding interior bagian atas bulkaan menuju ke plafond barulah

keluar. Kecepatan udara di plafond relative besar disbanding kecepatan di dalam ruangan.

Mengamati perilaku hal seperti ini, sangatlah menguntungkan bilamana aliran udara ini berfungsi membuang panas kumpulan udara interior untuk didorong keluar ruangan ataupun teknik pemasangan ornament plafond harusnya lebih kuat.

Bukaan jendela 30° dan outlet berada lebih tinggi dari pada posisi jendela, perilaku udara yang terjadi hanya disekitar dinding depan dan plafond saja, artinya space interior bagian tengah ruangan ataupun bagian bawah ruangan sama sekali tidak ‘tersentuh’ aliran udara. Secara detail rekapitulasi hasil pengukuran ini dapat dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 01 :

Rekapitulasi data antara pengukuran lapangan (rumah model) & hasil simulasi :

Sumber angin (A)	B (m/detik)	C (m/detik)	D (m/detik)
In-situ kecp 1.8	0.1	0.57	0.16
Simulasi	0.1	0.5	0.2
In-situ kecp 2.8	0.10	0.62	0.04
Simulasi	0.1	0.6	0.2
In-situ kecp 3.8	0.15	0.69	0.26
Simulasi	0.2	0.7	0.3

Tingkat akurasi penggunaan program simulasi.

Yang dimaksud tingkat akurasi program simulasi ini adalah seberapa besaran value yang didapatkan pada titik-titik yang telah ditentukan bilamana dibandingkan dengan posisi titik-titik yang sama yang dilakukan dengan pengukuran manual. Dan hasiln dari visual tampilan simulasi, ternyata hanya dapat dibaca pada skala 1 angka dibelakang digit . Sedangkan pengukuran lapangan yang menggunakan alat ukur hpotware (yang dilakukan secara manual/per spot waktu) bisa didapatkan 3 angka dibelakang digit. Membandingkan keduanya, dapat kami simpulkan tingkat akurasi alat lebih detail dari

pada program simulasi. Beberapa hal yang menyebabkan ketidak akuratnya program ini, bisa dilakukan dengan meningkatkan tingkat iterasinya (lebih besar dari 500) ataupun dievaluasi kembali jarak sumber anginnya.

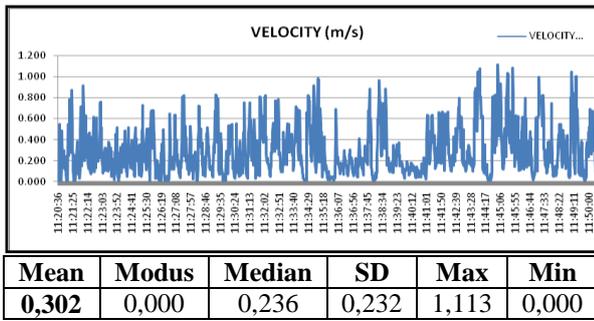
Tingkat validasi kedua pengukuran.

Sedangkan yang kami maksud tingkat validasi disini adalah :

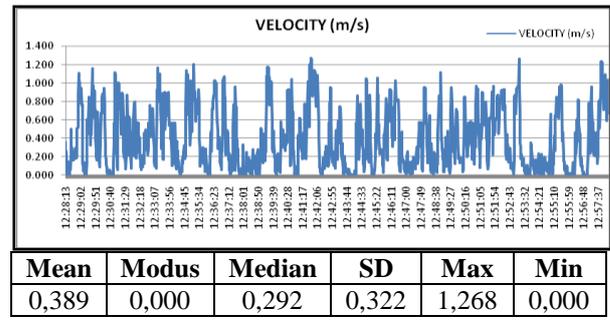
- Pertama, seberapa jauh perbedaan hasil ukur dilapangan terhadap model dengan hasil ukur pada simulasi. Kedua, dapat diartikan bahwa pengukuran terhadap model divalidasi dengan gambar simulasi (bilama memang program simulasi terbilang akurat) ataupun hasil ukur simulasi divalidasi terhadap hasil ukur lapangan. Untuk maksud ini, maka kita dapat analisa table 01 diatas.
- Perbedaan hasil ukur antara simulasi dan pengukuran lapangan, sangatlah beragam di kedua titik. Di titik B, perbedaannya rata-rata hanya sekitar 17% (0.10 m/detik ke 0.12m/detik). Untuk titik C, perbedaannya rata-rata hanya sekitar 5% (0.60 m/detik ke 0.63m/detik) dan di titik D, perbedaannya rata-rata hanya sekitar 21% (0.23 m/detik ke 0.19m/detik). Artinya, karena rentang perbedaan hanya sekitar 5%-20% dapat dikatakan bahwa pengukuran dengan menggunakan dengan program ini sudah mendekati valid setelah dibandingkan dengan pengukuran lapangan. Dan berate program ini telah siap digunakan untuk pensimulasian/pengukuran pada obyek-obyek lainnya.

3.2. Pengukuran in-situ dengan hotwire – dengan cara 02.

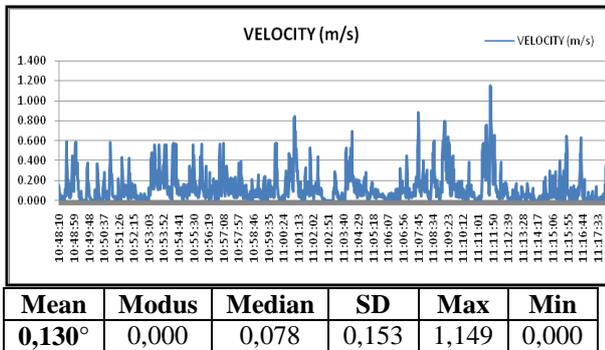
Yang dimaksud cara 02 adalah pengukuran profil kecepatan udara dalam ruangan dengan menggunakan ruangan dalam ukuran sebenarnya (skala 1;1), dan alat ukur yang digunakan adalah hotware yang dilakukan dengan menghubungkan langsung ke program perekam dalam. Kemudian kami lakukan perbandingan hasil ukurnya dengan menggunakan program CFD Ecotect 2011.



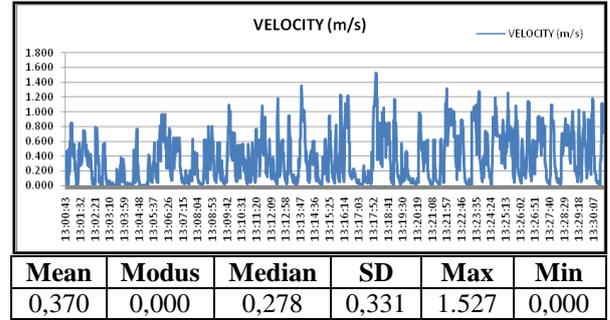
a)



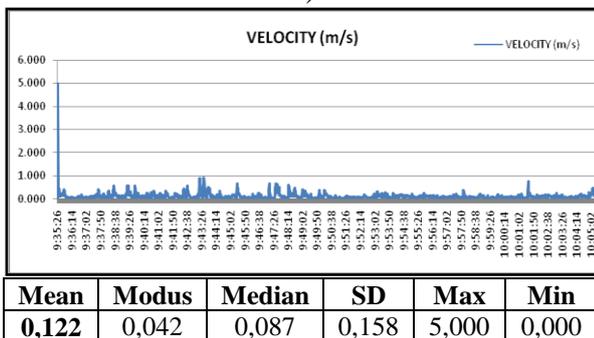
a)



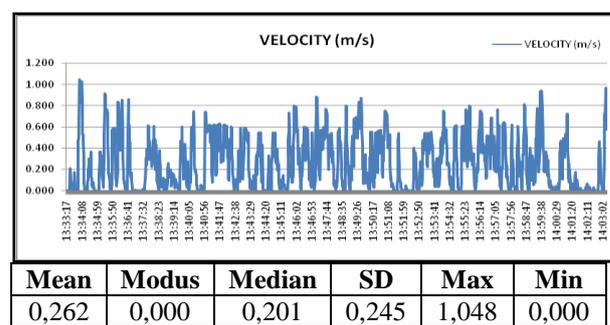
b)



b)



c)



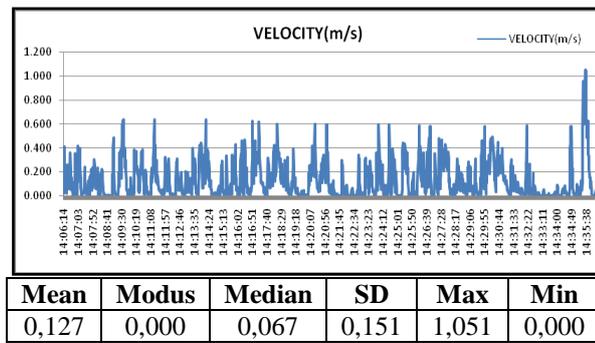
c)

Gambar 06

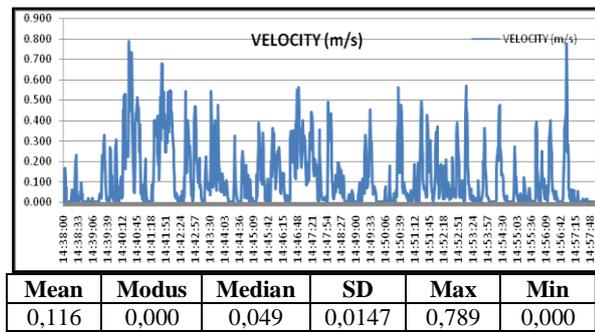
Grafik hasil pengukuran Hotwire Anemometer pada ketinggian 120 m kecepatan angin input titik A (3.8 m/detik) dengan jarak sumber angin/kipas 0.50m – diukur selama 30 menit: a) pada titik B, b) pada titik C dan c) pada titik D

Gambar 07

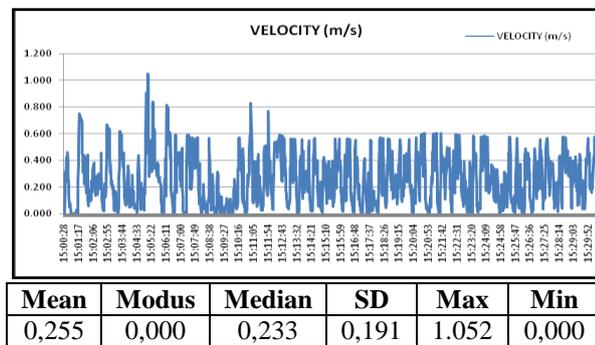
Grafik hasil pengukuran Hotwire Anemometer pada ketinggian 1.50 m kecepatan angin input titik A (3.8 m/detik) dengan jarak sumber angin/kipas 0.50 m – diukur selama 30 menit: a) pada titik B, b) pada titik C dan c) pada titik D



a)



b)



c)

Gambar 08

Grafik hasil pengukuran Hotwire Anemometer pada ketinggian 2.00 m kecepatan angin input titik A (3.8 m/detik) dengan jarak sumber angin/kipas 0.50m – diukur selama 30 menit: a) pada titik B, b) pada titik C dan c) pada titik D

Bagaimana pola dan tingkat kecepatan udara yang terjadi didalam suatu ruangan berskala 1:1 (ruang laboratorium computer) dari suatu sumber angin sebuah kipas angin dengan kecepatan 3.8 m/detik yang diletakan tepat dihadapan jendela jungkit bersudut 30° pada jarak 0.50 m, maka deskripsi pola dan tingkat kecepatan udaranya yang terjadi adalah sebagai berikut :

Bilamana pada tampilan simulasi dari obyek berukuran 1.00 x 1.00m diatas, bahwa pola aliran udara mencapai kecepatan

maksimum hanya pada 3 (tiga) spot (seputar inlet, seputar plafond dan seputar outlet), maka demikian pula halnya yang ditampilkan pada simulasi untuk ruangan laboratorium ini.

Pola sekitar plafond merupakan space dimana angin melintasi ruangan untuk kemudian keluar menuju outlet. Pola udara masuk juga tidaklah langsung menyilang menuju outlet dengan melewati space tengah ruangan, justru udara berbelok/menyusuri dinding interior bagian atas bulkaan menuju ke plafond barulah keluar. Kecepatan udara diplafond relative besar 293isbanding kecepatan di dalam ruangan. Hanya saja yang membedakan dengan hasil simulasi sebelumnya, adalah bahwa pola gerakan udara sebelum keluar outlet mengalami perubahan mengisi sebagian ruang tengah disekitar plafond dan barulah secara horizontal keluar melalui lubang outlet. Hal ini bisa di hopitesakan bahwa dimensi panjang ukuran interior sangat mempengaruhi pola/ besaran pola aliran udara. Tentunya, sebagaimana hasil analisa sebelumnya diatas, bahwa mengamati perilaku hal seperti ini, sangatlah menguntungkan bilamana aliran udara ini berfungsi membuang panas kumpulan udara interior untuk didorong keluar ruangan ataupun teknik pemasangan ornament plafond harusnya lebih kuat. Mencermati penelitian sebelumnya (Prianto 2.002), bahwa pola aliran udara dalam ruangan ini sangatlah dipengaruhi oleh bentuk plafondnya, maka hasil pengamatan simulasi dengan program...sependapat dengan hasil penelitian prianto dan depecker.

Suatu ruangan seperti ruangan laboratorium ini, tervisualisasikan pergerakan udaranya bahwa bilamana bukaan jendela 30° dan outlet berada lebih tinggi dari pada posisi jendela, perilaku udara yang terjadi hanya disekitar dinding depan dan plafond saja, artinya space interior bagian tengah ruangan ataupun bagian bawah ruangan sama sekali tidak ‘tersentuh’ aliran udara.

Pola yang terjadi diseputar inlet, dari ketiga pengamatan hasil simulasi masing-masing mengalami penurunan : dari kecepatan 3.8 m pada sumber angin dibagian luar menjadi 4 zona kecepatan yaitu 0,5 m/detik, 1.00 m/detik, 1,5 m/detik dan 2.00m/detik. Artinya telah terjadi penurunan

kecepatan 47% (3,8 m/detik menjadi 2 m/detik) dan 87% (3,8 m/detik menjadi 0,5 m/detik). Secara detail pola pengurangan kecepatan udara dari masing-masing titik ukur adalah :

- Pada titik B di jarak 0.50 m dari dinding bukaan, kecepatan 3,8 m/detik menjadi 0.5 m/detik dan terus berkurang mendekati 0 (nol m/detik) ke arah ukuran 1.00 dan 1.50 m ke arah dalam. Atau dapat dikatakan mengalami penurunan dimulai 87% hingga 100%. Artinya space dibelakang jendela yang memiliki ketinggian 1.00 m diatas lantai ruangan, maka space interior berjarak 0.50 m lah saja yang masih mendapatkan tingkat besaran udara (0.5 m/detik) dan selanjutnya makin melemah hingga mencapai kecepatan 0 (nol), bagaimana yang terjadi dengan space ruangan interior sepanjang 9.00 meter lainnya kebelakang? Sedangkan ke arah vertical (jarak 1.50 m dan 2.00 meter diatas lantai pada posisi titik B ini, kecepatan udara yang terjadi relative konstan, yaitu rentang 0.5 m/detik – 1.00 m/detik. Kecepatan maksimal pada seputar inlet ini hanya mencapai 2 m/detik dan itupun tepatv diseputar lubang jendela. Tidak seperti halnya model pertama.
- Pada titik C (berjarak 1.00 m dari dinding bukaan) ke arah horisontal (jarak 2.00 m ke arah ruang dalam), bahwa kecepatan udara yang terjadi dibanding sumber udara dari luar berkecepatan 3.80 m menjadi sekitar 0 m/detik – 0.5 m/detik dan terus berkurang mendekati 0 (nol m/detik). Bahkan dapat dikatakan pada titik C ini ke arah dalam kecepatan udara sangat lemah hingga mencapai 0 (nol). Sedangkan ke arah vertical, kecepatan maksimum didapatkan pada ketinggian 2.00 m (kecepatan 1 m/detik – 1,5 m/detik). Dan terakhir yang sama sekali tidak ‘tersentuh’ gerakan udara ataupun aliran angin ini adalah pada titik D, baik secara horizontal ataupun vertical.
- Dari tampilan simulasi tersebut dapat dikatakan bahwa ruangan ini, akan tidak tersentuh aliran udara pada bagian interiornya berawal dari jarak ukur 1.50

m dari dinding inlet hingga ke bagian belakang ruangan.

Yang menarik adalah pola disekitar plafond atau diatas ketinggian 2.00 meter dari lantai mendekati outlet. Bahwa kecepatan udara interior yang seyogyanya makin melemah setelah jarak 1.50 m dari inlet (kecepatan 0 m/detik – 0,5 m/detik), kini mengalami kenaikan kembali mencapai 1.5 m/detik hingga 2 m/detik yang berada disekitar 3.50 meter dari arah outlet di ketinggian 2.00 meter dari lantai (lihat gambar). Perilaku peningkatan ini terus bertambah hingga mencapai kecepatan 4 m/detik – 5 m/detik diseputar outlet yang berupa kisi-kisi/krepyak. Atau dapat dikatakan mengalami peningkatan 32% (dari 3,8 m/detik ke 5 m/detik)

Tingkat akurasi penggunaan program simulasi.

Seperti yang dipaparkan sebelumnya, bahwa yang dimaksud tingkat akurasi program simulasi ini adalah seberapa besaran value yang didapatkan pada titik-titik yang dihasilkan pada tampilan simulasi bilamana dibandingkan dengan value kecepatan udara pada posisi titik-titik yang sama yang dilakukan dengan pengukuran hotwire yang tersambung dengan latop/perekaman otomatis. Hasil dari visual tampilan simulasi, ternyata hanya dapat dibaca pada skala 1 angka dibelakang digit (sebagaimana hasil dari simulasi sebelumnya, misal 0,5 m/detik), sedangkan pengukuran lapangan yang menggunakan alat ukur hotwire bukan hanya mendapatkan value dengan 3 angka dibelakang digit (misal 0,127 m/detik), tapi data terekam secara otomatis pada setiap detiknya dengan rentang lama pengukuran diatur 30 menit. Membandingkan keduanya, dapat kami simpulkan tingkat akurasi alat sangat lebih detail dari pada program simulasi (lihat grafik pengukuran hotwire). Dua solusi untuk memperbaiki mengetahui perbaikan tingkat akurasi program simulasi : pertama, dilakukan dengan meningkatkan tingkat iterasinya (lebih besar dari 500), kedua redesign input jarak sumber anginnya. Namun hal ini perlu ditindaklanjuti pengamatannya.

Tingkat akurasi pengukuran dengan hotwire yang terekam langsung dengan program di laptop.

Yang dimaksud dengan keakuratan pengukuran kecepatan angin dengan alat hotwire ini adalah seberapa value pengukuran kecepatan yang didapatkan selama pengukuran. Sebagaimana tertampil dalam gambar diatas, bahwa pengukuran yang lansung terekam otomatis dalam program, maka data dapat tercatat setiap detik. Tentunya pengukuran dan pendataan semacam ini sudah sangat akurat, apalagi pemakaian alat ini sebelumnya telah di sertivicat kalibrasinya. Artinya penggunaan alat hotwire tidak diragukan lagi dan direkomendasikan penggunaan secara otomatis, bukan secara manual sebagaimana teknik pengukuran sebelumnya.

Tingkat validasi kedua pengukuran.

Sedangkan yang kami maksud tingkat validasi pengukuran antara hasil simulasi dan hasil pengukuran dilapangan dengan alat ukur hotwire disini adalah seperti terdiskripsi diatas, yaitu :

- Pertama, seberapa jauh perbedaan hasil ukur dilapangan terhadap model dengan hasil ukur pada simulasi.
- Kedua, dapat diartikan bahwa pengukuran terhadap model divalidasi dengan gambar simulasi (bilamana memang program simulasi telah dilakukan penyempurnaan dalam proses

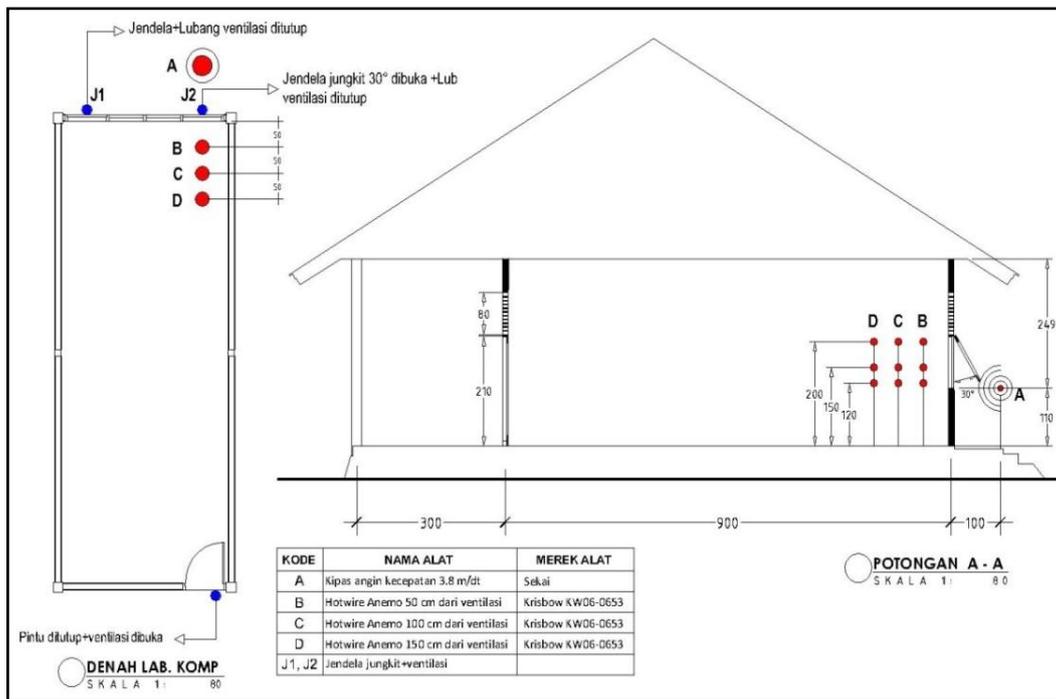
data/input sebelum di running) ataupun hasil ukur simulasi divalidasi terhadap hasil ukur lapangan. Untuk maksud ini, maka kita dapat analisa table 02 di bawah ini.

Perbedaan hasil ukur antara simulasi dan pengukuran lapangan, sangatlah beragam di kedua titik. Hanya saja untuk mendapatkan data pengukuran dari alat ukur hotwire yang terkoneksi langsung dengan laptop, maka terlebih dulu data harus diolah. Pengolahan data tersebut kita harus mencari nilai rata-ratanya (mean) dari sejumlah value yang terrekam setiap detiknya selama 30 menit. Value rata-rata di sepanjang titik B secara horizontal (dari ketinggian 0.50 m hingga 2.00m), value rata-rata taksiran dari simulasi didapatkan 0.75 m/detik, sedangkan dari hasil pengukuran hotwire didapatkan value rata-rata sebesar 0,273 m/detik, maka terdapat perbedaan lebih detail sebesar 64%. Untuk titik C terdapat perbedaan lebih detail sebesar 18% (dari value 0.25 m/detik ke 0.21m/detik). Sedangkan di titik D, terdapat perbedaan lebih detail sebesar 15% (dari value 0.25 m/detik ke 0.21m/detik). Artinya, karena rentang perbedaan berkisar 15%-64% dapat dikatakan bahwa pengukuran dengan menggunakan lapangan dengan menggunakan alat ukur hotwire pada kondisi sangat valid setelah dibandingkan dengan pengukuran dengan penggunaan program simulasi.

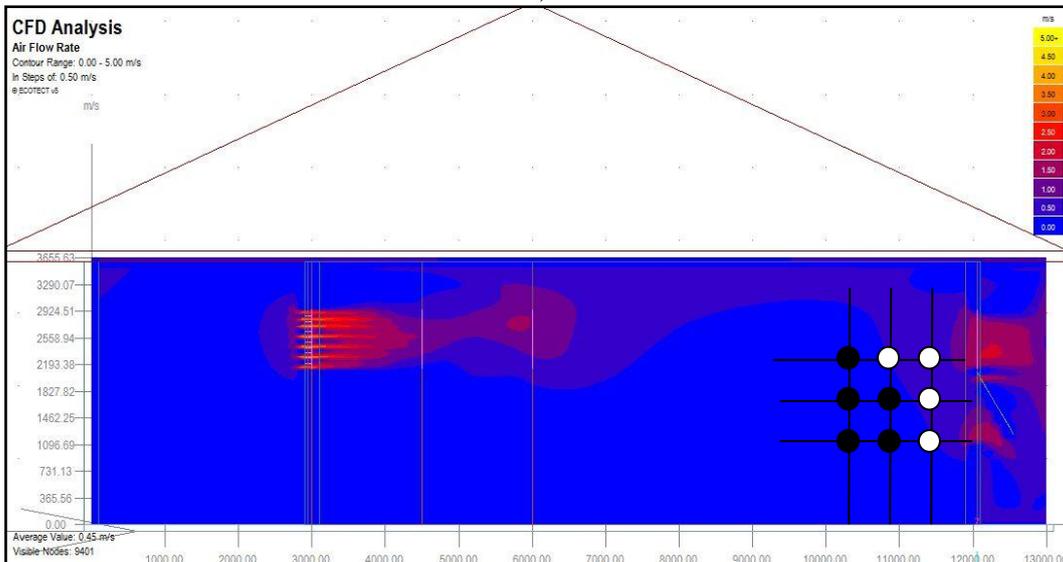
Tabel 02 :

Rekapitulasi data antara pengukuran lapangan (ruangan laboratorium) dan hasil simulasi :

Sumber angin (A)	B (m/detik)	C (m/detik)	D (m/detik)
In-situ ketinggian 1.2	0.302	0.130	0.122
Simulasi	0.50-1.00	<i>0.0-0.5</i>	<i>0.0-0.5</i>
In-situ ketinggian 1.5	0.389	0.370	0.262
Simulasi	0.50-1.00	<i>0.0-0.5</i>	<i>0.0-0.5</i>
In-situ ketinggian 2.0	0.127	0.116	0.255
Simulasi	0.50-1.00	0.50-1.00	<i>0.0-0.5</i>



a)



b)

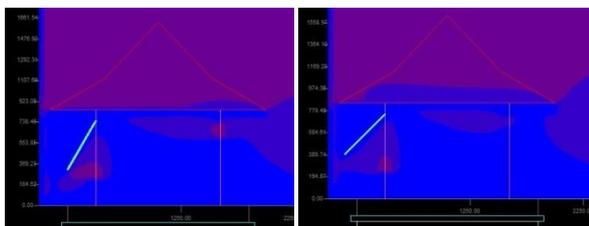
Gambar 09

Grafik hasil pengukuran Hotwire Anemometer pada ketinggian 120 m selama 30 menit: a) pada titik B, b) pada titik C dan c) pada titik D

3.3. Pengaruh type bukaan jendela terhadap peningkatan kecepatan udara dalam ruangan.

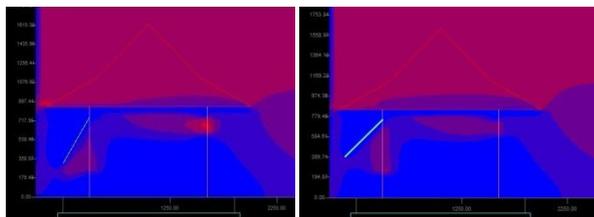
Setelah dilakukan tahap pengukuran akurasi antara obyek “sebuah model” dan obyek “suatu ruangan reel berskala 1:1” dan tahap pengukuran keakurasian antara metode simulasi dan pengukuran lapangan dengan alat hotware diatas. Pada tahap kedua dari penelitian ini dilakukan pengamatan untuk mengetahui kepengaruhannya kecepatan udara dalam ruangan terhadap type bukaan jendela

(30° dan 45°) dan kecepatan udara masuk (1,8 m/detik, 2,8 m/detik dan 3,8 m/detik) . Hasil perbandingan antara dua type jendela tersebut dalam tampilan simulasi program CFD Ecotect adalah sebagai berikut.



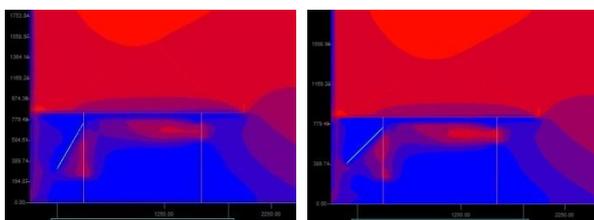
Gambar 10

Visual perbandingan simulasi profil gerakan udara pada jendela jungkit 30° & 45° dengan input kecepatan udara 1.8 m/detik



Gambar 11

Visual perbandingan simulasi profil gerakan udara pada jendela jungkit 30° & 45° dengan input kecepatan udara 2.8 m/detik



Gambar 12

Visual perbandingan simulasi profil gerakan udara pada jendela jungkit 30° & 45° dengan input kecepatan udara 3.8 m/detik

Mengamati pola gerakan udara interior dari efek bentuk jendela jungkit 30 dan 45 secara prinsip bentuknya relative sama, baik pada input kecepatan udara 1,8m/detik, 2,8 m/detik dan 3,8 m/detik, yaitu udara bergerak masuk langsung menyusuri dinding menuju plafon untuk kemudian keluar melalui outlet. Sehingga bagian tengah dan belakang ruangan sama sama sekali ‘tidak tersentuh’ sirkulasi udara. Sedangkan yang membedakan pola antara jendela jungkit 30° dan 45° adalah pada besaran volume kecepatan udara dalam ruangan, dimana untuk jendela jungkit ‘volume’ kecepatan udara ‘kuantitasnya’ lebih banyak.

Tabel 03 :

Rekapitulasi perbandingan profil gerakan udara pada jendela jungkit 30° dan 45°

Type bukaan	B (m/detik)	C (m/detik)	D (m/detik)
Kecepatan 1,8			
Jungkit 30°	0.0-0.1	0.1-0.2	0.1-0.2
Jungkit 45°	0.0-0.1	0.1-0.2	0.0-0.1
Kecepatan 2,8			
Jungkit 30°	0.0-0.1	0.4-0.5	0.1-0.2
Jungkit 45°	0.0-0.1	0.3-0.4	0.1-0.2
Kecepatan 3,8			
Jungkit 30°	0.1-0.2	0.5-0.6	0.2-0.3
Jungkit 45°	0.1-0.2	0.5-0.6	0.1-0.2

Mencermati hasil ukur secara ‘kuantitatif’ pada table 03 diatas, untuk ketiga perbedaan kecepatan udara masuk, ternyata keseluruhannya mengalami penurunan kecepatan udara interior rata-rata rentang 91%-94%. Secara detail dapat dipaparkan sebagai berikut:

Pada jendela jungkit 30 dengan kecepatan udara masuk 1,8 m/detik : penurunan kecepatan antara 92% hingga 97% (1,8 m/detik ke 0,05 m/detik). Dimana hanya pada jendela jungkitlah terdapat penurunan sedikit sebesar 92%.

Pada jendela jungkit 30 dengan kecepatan udara masuk 2,8 m/detik : penurunan kecepatan antara 84% hingga 98% (2,8 m/detik ke 0,05 m/detik). Dimana hanya pada jendela jungkitlah terdapat penurunan sedikit sebesar 84%.

Pada jendela jungkit 30 dengan kecepatan udara masuk 3,8 m/detik : penurunan kecepatan antara 84% hingga 96% (3,8 m/detik ke 0,05 m/detik). Dimana hanya pada jendela jungkitlah terdapat penurunan sedikit sebesar 84%.

Artinya pada pilihan antara jungkit 30° dan 45°, seyogyanya pilihlah jendela jungkit 30° karena di ruangan interiornya disamping masih terdapat kecepatan yang relative besar juga volume udara yang masuk relative lebih banyak. Hal ini senada dengan penelitian Prianto (Prianto 2002), bahwa jendela jungkit 30° lebih direkomendasikan dari pada jungkit 45° dalam menciptakan kenyamanan seseorang yang duduk.

4. KESIMPULAN

- Pemakaian alat ukur seyogyanya disesuaikan dengan tingkat keakuratan sebelum dilakukan pemvalidasian hasil ukur.
- Pemvalidasian secara sederhana dapat dilakukan antar metode yang setara/sejenis. Perbedaan metode sering menimbulkan deviasi perbedaan yang signifikan.
- Tingkat keakuratan pengukuran kecepatan udara dalam percobaan ini secara runtut adalah : pengukuran lapangan dengan menggunakan alat hotwire kemudian menggunakan program simulasi.
- Profil pengukuran kecepatan udara interior dari obyek model dan obyek ukuran reel yang dipilih secara proposional tidaklah menimbulkan perbedaan yang signifikan. Justru mempertimbangkan hal ini, tentunya pemakaian obyek model miniature lebih direkomendasinya karena lebih simple dan praktis serta efisien.
- Pilihan antara jendela jungkit 30° dan 45°, dalam mendapatkan kecepatan udara maksimum dan volume udara yang lebih besar terdapat pada pemakaian jendela jungkit 30°.
- Perbedaan kecepatan udara masuk dalam ruangan pada pilihan jendela jungkit 30° dan 45°, ternyata hanya pada aplikasi jendela jungkit 30° yang memiliki value signifikan kenaikannya disbanding jendela jungkit 45°.

5. DAFTAR PUSTAKA

BSN - Badan Standardisasi Nasional (2001), *SNI-03.6572 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*. Jakarta,

- ecotect. (2008, - -). *Autodesk*. Retrieved april 20, 2016, from Ecotect v5.6 and Earlier: <http://ecotect.com/>
- energycity. (2011, mei 3). *ecotect*. Retrieved april 10, 2016, from energycity: <http://www.energycity2013.eu/pages/result/s/data-catalogue/existing-urban-energy-models/ecotect.php>
- Gagoek, H dan Sukawi, (2014), *Pengaruh Luas Bukaannya Terhadap Kebutuhan Pertukaran Udara Bersih Dalam Rumah Tinggal*. Jurnal Modul Vol. 14.
- Harianja, B; Prianto,E dan Setiabudi, W (2015), "*Pengaruh Luas bukaan Jendela dan Lubang Ventilasi Terhadap Laju dan Pola Aliran Udara dengan bantuan simulasi CFD*", proposal Tesis MTA Undip (tidak dipublikasikan)
- Jones P. J., Whittle G. E (1992), *Computational Fluid Dynamics for building air flow: Current status and capabilities*, Building and Environment, vol 24, no.1, p. 321-338.
- Kementerian Kesehatan, (2002), *KEPMENKES RI Nomor. 1405/MENKES/SK/XI tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Kerja Perkantoran dan Industri*. Jakarta.
- Kindangen JI (2003), *Pengaruh Tipe Jendela Terhadap Pola Aliran Udara Dalam Ruang*, Jurusan Teknik Arsitektur, Dimensi Teknik Arsitektur Vol. 31, No. 2, p.158-162
- Kindangen, J.I dan Krauss, G, (1996), *Investigation of Natural Ventilation with Computational Fluid Dynamics. A Comparison Study with Wind Tunnel Results*, Architectural Science Review, vol. 39, no. 2, p. 113-120
- Kindangen, J.I., Krauss, G. dan Depecker, P, (1997), *Effects of Roof Shapes on Wind-Induced Air Motion Inside Buildings*, Building and Environment, vol.32, p. 1-11.
- Prianto, E dan Depecker,P. , (2002). *Characteristic of airflow as the effect of balcony, opening design and internal division on indoor velocity: A case study of traditional dwelling in urban living quarter in tropical humid region*, Energy and Buildings, Volume 34, Issue 4, pp. 401-409

- Prianto, E, (2002), *Modelisation des ecoulements et analyse architecturale de performances de l'espace habitable en climat tropical humide*, these de Doctorat, Universite de Nantes & Ecole Polytechnique de L'Universite de Nantes, 124 p.
- Prianto, E, (2003), *Design Jendela Yang Tanggap Terhadap Tuntutan Kenyamanan Penghuni*, Semarang, Badan Penerbit Universitas Diponegoro. 60 p.
- Prianto, E., Jachet,I., Depecker,P., dan Peneau, J-P., (2001). *Contribution of N3S Numerical Simulation in Investigating the Influence of Balcony on Traditional Building to Obtain Maximum Indoor Velocity*, *Jornal Architecture Science*, Hong Kong, Volume , Number 3, pp.101-112.
- Prianto,E, (2002), *Alternatif desain arsitektur daerah tropis lembab dengan pendekatan kenyamanan termal*, *Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur*, Vol. 30
- Sangkertadi dan Suryono, (2001), *Mengestimasi koefisien bukaan pada jendela bangunan tinggi dengan bantuan simulasi CFD*, *Jurnal Dimensi Teknik Arsitektur* vo. 29 no. 2, p. 147-150.
- Sangkertadi, Suryono, (2001), *Studi Ventilasi Alami dan Penghematan Energi pada Bangunan Tinggi*, Laporan Akhir Hasil Penelitian URGE-DCRG
- Soegijanto, (1998), *Bangunan Di Indonesia Dengan Iklim Tropis Lembab Ditinjau Dari Aspek Fisika Bangunan*. Jakarta, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departmen Pendidikan dan Kebudayaan, 325p.