

EVALUASI PERFORMA VENTILASI ALAMI PADA DESAIN BUKAAN RUANG KELAS UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

Jackobus Ade Prasetya Seputra¹

Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta

e-mail: ad3_prasetya@yahoo.com

Abstract: Education is an important sector of a nation toward better future. Conducive classroom with well designed room ventilation would encourage occupants in implementing effective teaching and learning activities. Research was conducted to figure out classroom performance and optimization of natural ventilation which was occurred in Engineering Faculty of UAJY represented by the classroom number 2406 as case study. Research is focused on classroom ventilation elements by examining window's dimension, occupant's adaptive behavior, opening types, and glass type at windward side. This research implements rationalistic method by utilizing computer simulation software DesignBuilder complemented with CFD in order to analyze and deduce information obtained primarily by field measurement and other relevant literatures. Results generated by DesignBuilder show that changes in ventilation area at external windows have significant influence over room's ventilation performance. CFD (Computational Fluid Dynamics) experiments were conducted by examining opening types shown on room's vertical section drawing, opening positions, overhangs, and external louvre types. Results show that experiments conducted by replacing the bottom layer of fixed windows with operable windows has significant effect in improving ventilation performance. Variation on overhangs only produce little impact, yet experiments on external louvres prove that the best type is horizontal louvre. Optimization done by studying above variables is capable to increase ventilation performance up to 800% in examined classroom.

Keywords: ventilation, optimization, room openings, computer simulation

Abstrak: Sektor pendidikan adalah tulang punggung suatu bangsa demi menuju masa depan yang lebih baik. Ruang kelas yang berkualitas dan kondusif dengan perencanaan sistem ventilasi dalam ruang yang baik bagi kegiatan belajar mengajar akan membantu tercapainya tujuan tersebut. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana performa ventilasi alami ruang dengan studi kasus Ruang Kelas 2406 Gedung Fakultas Teknik UAJY dan bagaimana bentuk optimasinya. Penelitian berfokus pada elemen bukaan dengan berbagai dimensi jendela, pengaturan adaptif penghuni, jenis bukaan ventilasi pada jendela, serta jenis kaca jendela pada sisi windward (angin datang). Metode simulasi komputer diperkuat dengan pengukuran lapangan menjadi alat bantu menakar dan mengoptimalkan kebutuhan ventilasi alami melalui berbagai variasi desain bukaan. Hasil studi dengan DesignBuilder memperlihatkan bahwa variabel luasan ventilasi pada jendela ("external window open") memiliki pengaruh besar terhadap performa ventilasi alami dalam ruang. Studi dengan CFD (Computational Fluid Dynamics) berfokus pada model bukaan ruang, yaitu model bukaan pada potongan vertikal ruang, posisi bukaan, tipe teritisan ("overhang") serta kerai ("louvre") eksternal. Eksperimen pada posisi bukaan inlet menunjukkan bahwa perubahan jendela mati menjadi jendela hidup pada lapis bawah menghasilkan performa ventilasi lebih baik. Studi teritisan tidak memiliki pengaruh besar, sedangkan studi kerai membuktikan bahwa jenis kerai terbaik adalah kerai horisontal. Optimasi ini mampu meningkatkan performa ventilasi hingga 800% pada studi kasus.

Kata kunci: ventilasi, optimasi, bukaan ruang, simulasi komputer

¹Jackobus Ade Prasetya Seputra adalah staf pengajar Program Studi Arsitektur Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

PENDAHULUAN

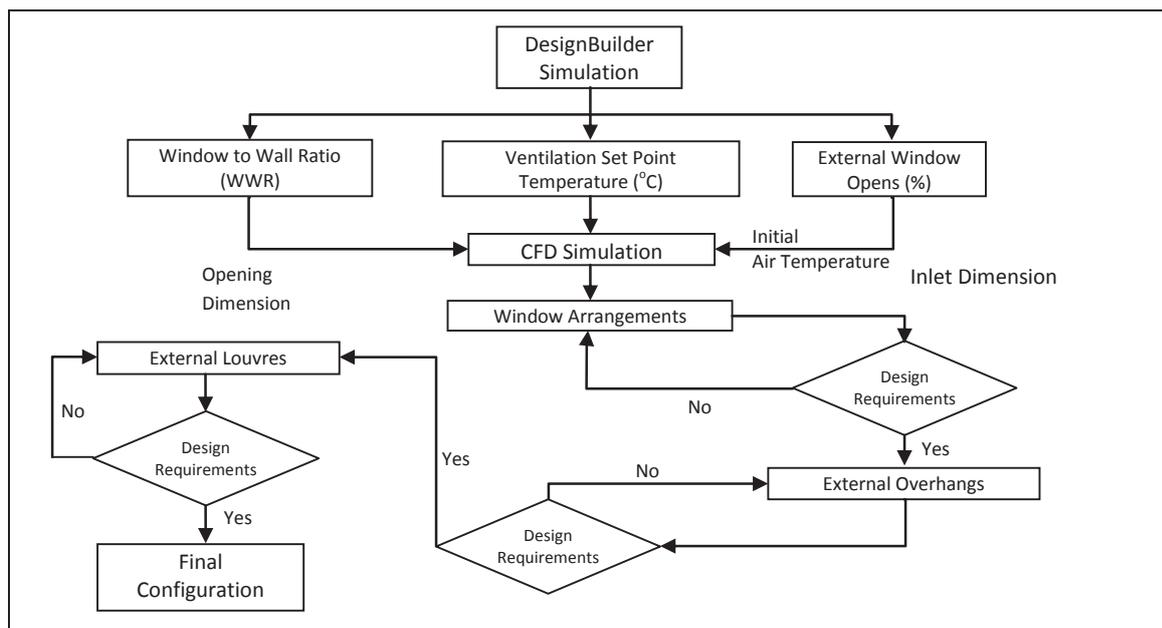
Ventilasi adalah proses suplai udara luar tidak terkondisi ke dalam ruang, sekaligus membuang udara keluar ruang dengan berbagai metoda (Boutet, 1998). Ventilasi yang baik memberikan pergantian udara dalam ruang secara terus menerus. Udara yang berganti secara teratur tersebut meningkatkan kenyamanan penghuni dan mencegah akumulasi udara kotor dalam ruang. Keuntungan lebih lanjut adalah penghematan energi dan biaya operasional bangunan.

Keuntungan pemanfaatan ventilasi dapat diterapkan pada ruang kelas untuk membantu kelancaran proses belajar mengajar. Permasalahan kondisi cuaca ekstrim saat ini membutuhkan penyesuaian desain bukaan dan jendela. Fenomena tiupan angin yang kencang dan suhu udara yang panas mengganggu kegiatan belajar di dalam kelas.

Penelitian bertujuan melakukan identifikasi performa sistem ventilasi alami melalui desain bukaan dan jendela ruang kelas kampus II Universitas Atma Jaya Yogyakarta sebagai representasi institusi pendidikan. Permasalahan yang ingin dijawab adalah: [1] Bagaimana performa desain bukaan

jendela yang ada dalam ruang kelas kampus II Universitas Atma Jaya Yogyakarta dalam upayanya untuk mendukung kenyamanan pengguna ruang ketika melakukan proses belajar mengajar saat ini? [2] Bagaimana evaluasi serta solusi desain bukaan jendela yang optimal untuk meningkatkan performa tersebut? Parameter kenyamanan yang dimaksudkan adalah kenyamanan termal para pelaku ruang yaitu mahasiswa dan dosen. Hasil identifikasi tersebut kemudian dianalisis dan diberikan evaluasi konstruktif dalam bidang fisika bangunan melalui studi komparatif model bukaan dan jendela ruangan.

Penelitian dilaksanakan menggunakan pendekatan kualitatif-rasionalistik dengan bantuan simulasi komputer *DesignBuilder–Energy Plus* dan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) sebagai alat penakar performa bukaan sekaligus pembanding solusi potensialnya. Wawancara dilakukan pada kondisi eksisting pada pengguna ruang terteliti, yaitu perwakilan mahasiswa dan dosen untuk memperkuat analisis kuantitatif. Secara garis besar proses pemanfaatan simulasi komputer sebagai penyedia solusi penelitian digambarkan dalam *flow chart* seperti pada gambar 1.



Gambar 1. *Flow chart* penelitian.
Sumber: Pemikiran penulis, 2011

VENTILASI ALAMI

Ventilasi adalah aliran udara, baik di ruang terbuka maupun tertutup (di dalam ruangan). Ventilasi alami adalah proses pergantian udara ruangan oleh udara segar dari luar ruangan tanpa bantuan peralatan mekanik. Penghawaan (ventilasi) alami perlu selalu diusahakan bilamana udara lingkungan memiliki kualitas yang baik (tidak bau, berdebu, polusi), tidak terlalu panas (di bawah 28 °C) dan lingkungan tidak bising (Satwiko, 2009).

Perancangan dalam Bangunan

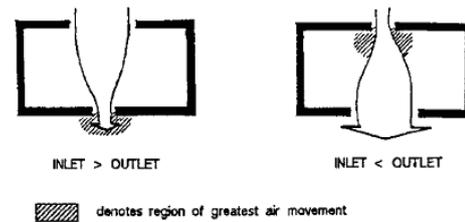
Udara bergerak secara alami masuk dan melewati bangunan sebagai akibat dari perbedaan tekanan antara udara dalam dan udara luar serta adanya perbedaan suhu dalam ruangan. Kecenderungan udara adalah berusaha untuk menyeimbangkan tekanannya yang disebabkan oleh aliran angin di sekitar bangunan. Perbedaan tekanan tersebut dapat dimanfaatkan untuk ventilasi alami karena angin selalu mengalir dari zona bertekanan tinggi menuju zona bertekanan rendah. Di dalam bangunan, perbedaan tekanan dapat pula terjadi karena adanya perbedaan suhu udara. Udara hangat yang lebih ringan naik ke atas bangunan atau ruangan dan menghisap udara dingin untuk mengisi tempatnya di lapisan dasar. Peristiwa ini disebut juga dengan 'stack effect' atau efek cerobong.

Desain Jendela

Desain jendela dipengaruhi faktor lokasi, penempatan, dimensi dan tipe atau model jendela yang dipilih. Ventilasi silang lebih maksimal apabila penempatan secara vertikal ikut diperhitungkan. Jendela yang berfungsi sebagai *inlet* (memasukkan udara) sebaiknya diletakkan pada ketinggian manusia yaitu 60 cm sampai dengan 150 cm (aktivitas duduk maupun berdiri), agar udara dapat mengalir di sekitar manusia tersebut untuk memperoleh rasa nyaman yang diharapkan. Sedangkan jendela yang berfungsi sebagai *outlet* (mengeluarkan udara) diletakkan lebih tinggi, agar udara panas dalam ruang dapat dengan mudah dikeluarkan.

Ventilasi lancar bila didukung dengan kecepatan udara yang memadai. Pada kondisi

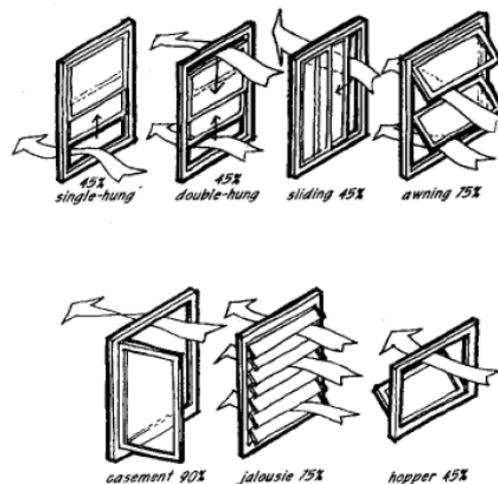
udara hampir tidak bergerak (kecepatan sangat kecil atau 0 m/det), desain jendela harus mampu mendorong terjadinya pergerakan yang lebih cepat atau memperbesar kecepatan udara. Hal ini dapat ditempuh dengan memilih dimensi jendela yang berbeda antara *inlet* dan *outlet* (Gambar 2) atau dengan memilih tipe jendela yang berbeda kemampuan mengalirkan udara (Gambar 3).



Gambar 2. Dimensi jendela yang berbeda antara *inlet* dan *outlet*.

Sumber: UFC (Unified Facilities Criteria) 3-440-06N, 2004.

Tipe jendela untuk *inlet* menentukan volume dan distribusi udara dalam ruangan. Jendela harus cenderung mengarahkan aliran angin untuk tetap berada pada arah horisontal atau menaikannya ke atas. Jendela jenis *double-hung*, *single-hung* dan *horizontal sliding* tidak mengarahkan angin ke atas tetapi memasukkan angin pada jalur horisontal, untuk itu sebaiknya tipe ini diletakkan pada ketinggian di mana aliran angin dibutuhkan. Jenis *casement*, *folding*, dan *pivot* dapat membelokkan angin ke kanan atau ke kiri, tidak



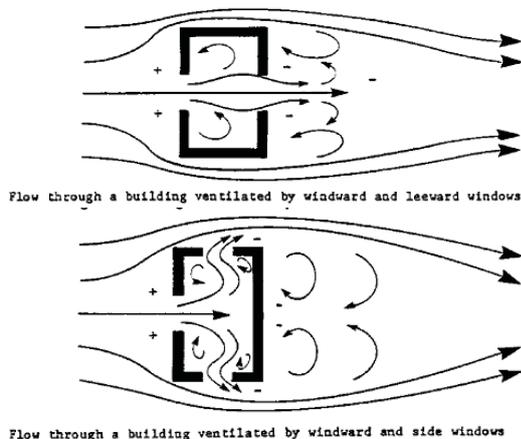
Gambar 3. Tipe jendela yang berbeda kemampuan mengalirkan udara.

Sumber: Mediastika, C. E., 2005

untuk ke atas atau ke bawah, sebaiknya tipe ini juga diletakkan pada ketinggian di mana aliran angin dibutuhkan. Jenis *projecting*, *awning*, *basement*, *pivot*, dan *jalousie* mengarahkan angin ke atas atau ke bawah kecuali jendela dibuka penuh 90°, sebaiknya diletakkan di atas atau di bawah permukaan di mana dibutuhkan angin. Perlu diperhatikan bahwa jendela berperilaku berbeda pada bangunan bertingkat tinggi karena arah angin cenderung naik pada kulit bangunan sebelum memasuki ruangan.

Ventilasi Silang

Ventilasi silang (*cross-ventilation*) adalah pergerakan udara melalui sebuah ruang yang dihubungkan oleh bukaan-bukaan bertekanan udara positif dan negatif karena dipengaruhi oleh kondisi luar (Boutet, 1998). Ventilasi silang menyediakan kecepatan angin yang tinggi serta pola distribusi udara terbaik dalam ruang (Gambar 4). Untuk itu, bukaan bertekanan tinggi dan rendah sangat diperlukan agar peristiwa ventilasi silang dapat terjadi.



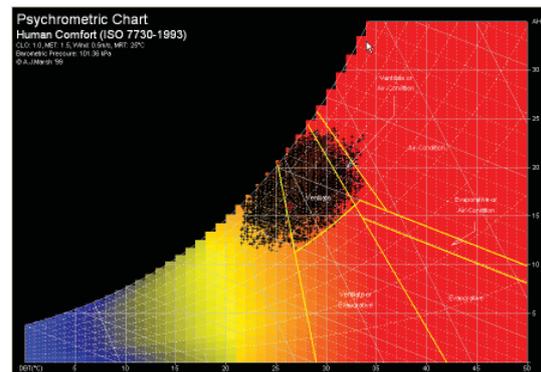
Gambar 4. Pola aliran udara serta zona bertekanan tinggi dan rendah.

Sumber: *UFC (Unified Facilities Criteria) 3-440-06N*, 2004.

Kriteria Kenyamanan Termal dalam Ruang

ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) mensyaratkan kenyamanan dipengaruhi oleh: suhu udara ruangan, kelembaban ruangan, dan kecepatan angin dalam ruangan. Batasan kenyamanan suhu efektif 23 – 27 °C, kecepatan angin 0.5 - 1.5 m/s, dan kelembaban relatif antara 50 – 60% (Endangsih, 1997). Untuk

mengukur distribusi aliran angin, digunakan rasio pemerataan (*uniformity ratio*) dengan formula kecepatan minimum dibagi rerata kecepatan pada bidang kerja ($V_{\min}/V_{\text{rerata}}$). Angka rasio 1 memiliki pemerataan sempurna, sehingga ketika rasio semakin mendekati angka 1 maka distribusi angin semakin merata. Data cuaca Yogyakarta diplotkan ke dalam *psychrometric chart* untuk menemukan zona nyaman dan strategi pendinginan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. *Psychrometric chart* untuk data cuaca Yogyakarta.

Sumber: Marsh, 1999.

Perilaku Adaptif Penghuni dalam Pengaturan Bukaan

Penghuni ruang dapat secara signifikan mengubah luas efektif total bukaan (Graca et al, 2003). Jika perilaku adaptif penghuni tidak diperhitungkan dalam mendesain strategi pengaturan ventilasi alami, maka timbul dua masalah utama: [1] Penghuni pada salah satu sisi ruang dapat secara signifikan mempengaruhi kontrol iklim pada sisi yang lain, serta [2] Pengaturan adaptif yang tidak tepat dapat menyebabkan memburuknya performa ventilasi alami keseluruhan, sehingga menimbulkan efek pemanasan dalam ruang.

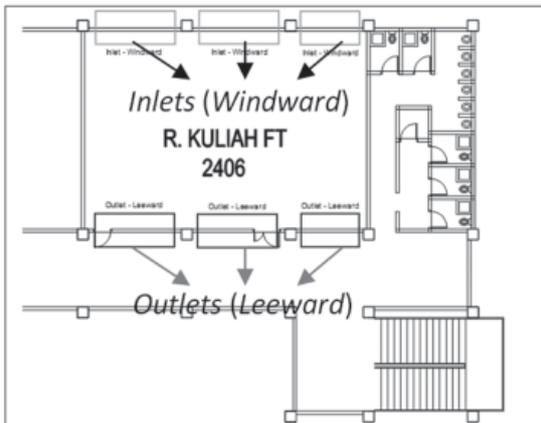
Data Primer dan Sekunder Penelitian

Rekaman kondisi riil pada ruang kelas sayap barat Gedung Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta dilakukan untuk memberikan gambaran nyata permasalahan kondisi termal ruang. Perekamannya dilaksanakan selama 1(satu) minggu mulai pukul 14.00 WIB hingga 16.00 WIB. Seluruh data kemudian dikomparasi untuk diambil kasus terburuk yang dapat mewakili permasalahan terkait.



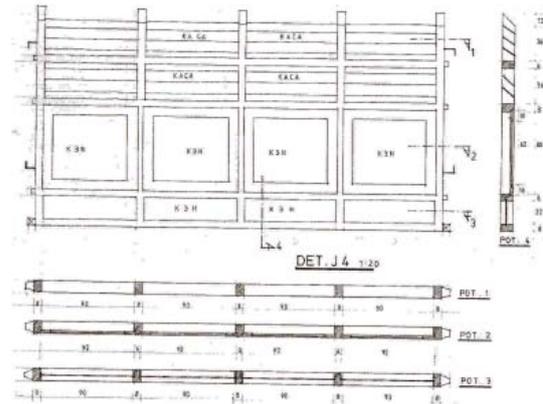
Gambar 6. Suasana ruang dalam kelas.
Sumber: Dokumentasi penulis, 2011

Fenomena yang timbul pada ruang kelas pada gambar 6 diatas sesuai dengan identifikasi masalah yang telah dikemukakan sebelumnya. Intensitas sinar matahari barat cukup mengganggu kegiatan pembelajaran dalam kelas. Terlihat dari ilustrasi di atas ketika mahasiswa terpaksa menutup bukaan jendela dengan tirai agar dapat melakukan aktivitasnya sebagai tindakan adaptif. Tindakan ini tentu saja mengakibatkan kerugian dalam hal ventilasi yang kurang optimal, sehingga suhu ruangan meningkat hingga mencapai 38°C.



Gambar 7. Denah ruang kelas 2406.
Sumber: Data PPKT FT-UAJY, 2011

Kompilasi data sekunder dilaksanakan dengan memanfaatkan koleksi dari PPKT FT UAJY. Denah ruang kelas terteliti pada gambar 7 diatas, yaitu Ruang 2406 serta detail pintu dan jendela pada gambar 8 menjadi acuan utama bagi proses permodelan keperluan simulasi ventilasi alami baik pada *DesignBuilder* dan *CFD ACE+*.



Gambar 8. Detil jendela eksternal kelas.
Sumber: Data PPKT FT-UAJY, 2011

Studi Iklim

Secara geografis Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta terletak di antara 7°30' – 8°15' Lintang Selatan dan 110° – 110°52' Bujur Timur. Berdasarkan letaknya yang berada di sekitar katulistiwa, Yogyakarta sebagai lokasi bangunan terpilih memiliki iklim tropis lembab dengan curah hujan yang tinggi. Ciri-ciri iklim tropis lembab sendiri adalah matahari bersinar sepanjang tahun, suhu yang panas, kelembaban dan curah hujan tinggi sepanjang tahun, perbedaan suhu siang dan malam hari yang kecil, pengaruh angin darat dan angin laut besar terutama pada daerah pantai dan fluktuasi intensitas radiasi matahari yang besar karena pengaruh langit yang berawan.

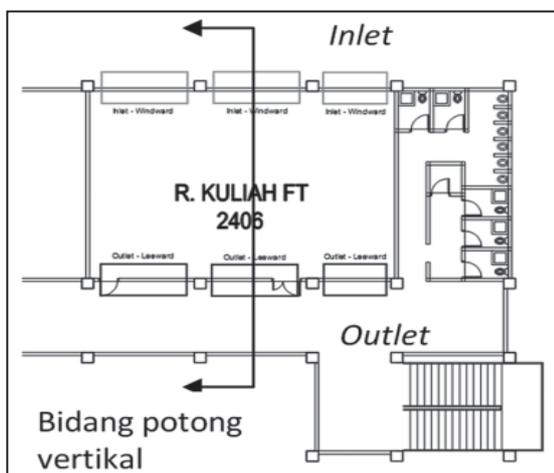
Simulasi Ventilasi Alami dengan *DesignBuilder*

DesignBuilder dimanfaatkan untuk mengevaluasi pemilihan tipe *facade* ruang kelas berventilasi alami dengan pemasangan jendela adaptif berdasarkan batas suhu tertentu. Batas bawah suhu untuk pemanfaatan ventilasi alami adalah 22°C, artinya ketika suhu dalam ruang mencapai 22°C maka jendela akan terbuka untuk memaksimalkan efek ventilasi alami dan menjaga batas kenyamanan termalnya. Selain itu *DesignBuilder* dapat mengkalkulasi efek-efek parameter desain terpilih terhadap berbagai macam variabel kenyamanan termal. Kemampuan ini dimanfaatkan dalam konteks lingkup penelitian dengan menetapkan variabel penelitian pada rasio luasan dinding-jendela, luasan bukaan, batas suhu adaptif, bahan kaca serta kerai jendela terhadap kriteria performansi suhu udara dalam ruang. Hasil

simulasi dengan *DesignBuilder* ini kemudian menentukan batasan dan fokus pada simulasi CFD selanjutnya.

Simulasi Ventilasi Alami dengan CFD

Aspek termal berupa suhu tidak diperhitungkan dalam simulasi CFD ini dengan asumsi simulasi sebelumnya telah cukup memberikan gambaran bahwa tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap aspek suhu udara dalam ruang. Batasan penelitian difokuskan pada distribusi kecepatan angin yang ada pada bidang kerja (0.7m) dari permukaan lantai saja. Kecepatan angin yang dikategorikan nyaman adalah 0.5–1.5 m/s menurut skala *Beaufort*, di mana kecepatan tersebut dapat dirasakan indera manusia tetapi tidak sampai mengganggu aktivitas didalamnya. Selanjutnya dicari konfigurasi bukaan optimum yang mendekati batasan angka tersebut. Mengingat kemungkinan variasi yang cukup banyak, maka simulasi dan pengambilan data dilakukan secara dua dimensi saja. Variabel-variabel yang diteliti adalah model bukaan pada potongan vertikal ruang, posisi bukaan, tipe *overhang* serta *louvre* eksternal. Variabel-variabel pada potongan vertikal tersebut kemudian dicari konfigurasi optimum ventilasi alaminya. Adapun letak *inlet* ditentukan pada bukaan sisi luar ruangan yang berbatasan langsung dengan lingkungan luar, sedangkan *outlet* ditetapkan pada bukaan sisi dalam bangunan yang berbatasan dengan selasar sirkulasi (lihat gambar 9 dan 10).



Gambar 9. Letak *inlet* dan *outlet* pada potongan horisontal.

Sumber: Koleksi pribadi, 2011



Gambar 10. Letak *inlet* dan *outlet* pada potongan vertikal.

Sumber: Dokumen penulis, 2011

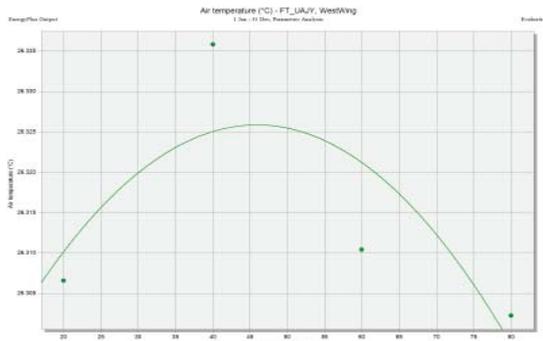
Simulasi dimulai dengan mencari kemungkinan posisi bukaan jendela dengan berbagai modifikasi elemen kisi-kisi bukaan untuk menyetir arah angin dari luar ke dalam ruang. Data-data kecepatan angin pada bidang kerja kemudian direkam dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel untuk dilihat perilaku angin yang terjadi pada tiap kasus. Kasus terbaik digunakan lebih lanjut untuk simulasi berikutnya yang mempertimbangkan elemen teritisan (*overhang*) dan kerai eksternal (*louvre*) sisi *inlet*. Kombinasi dari kasus terbaik seluruh aplikasi tersebut lalu digunakan untuk mencapai optimalisasi desain ventilasi alami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi Rasio Luas Jendela – Dinding terhadap Suhu Ruang

Studi ini dilakukan dengan tujuan untuk memperlihatkan kecenderungan perilaku termal dalam ruang ketika memperhitungkan berbagai variasi rasio luasan jendela (*Window-Wall Ratio*) dengan dinding sisi luar ruangan. Adapun rasio yang diteliti adalah 20%, 40%, 60%, dan 80%. Setelah dilakukan proses simulasi, hasil perhitungan tersebut kemudian dituangkan dalam grafik pada gambar 11.

Kecenderungan suhu dalam ruang meningkat ketika rasio mendekati angka 40%. Sedangkan WWR optimum tampak ketika suhu menurun mendekati WWR 80%. Berdasarkan studi ini, terlihat bahwa potensi pemanfaatan ventilasi alami cukup besar jika diterapkan dalam ruang terteliti karena semakin banyak luasan jendela maka kesempatan bagi bukaan



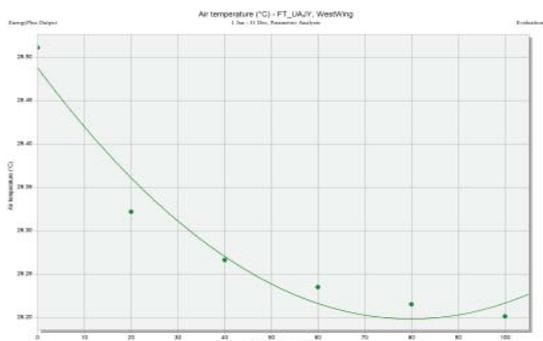
Gambar 11. Kurva pengaruh WWR terhadap suhu udara dalam ruang.

Sumber: Hasil simulasi *DesignBuilder*, 2011

ventilasi alami juga semakin besar. Data ini kemudian digunakan untuk memberikan masukan bagi dimensi optimum jendela dan bukaan terhadap dinding masif ruangan.

Studi Luas Buka-an Ventilasi terhadap Suhu Ruang

Studi ini bertujuan untuk mengetahui bukaan ventilasi optimum terhadap suhu udara dalam ruang terteliti. Adapun persentase bukaan yang diperhitungkan adalah 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%.



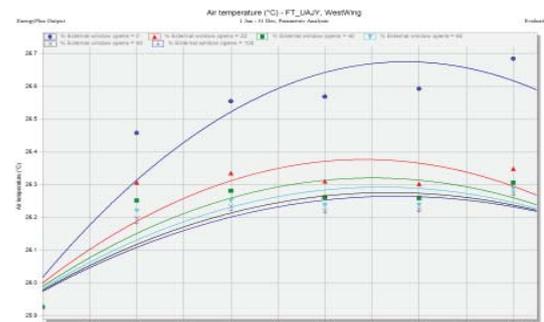
Gambar 12. Kurva pengaruh luas bukaan ventilasi terhadap suhu ruang.

Sumber: Hasil simulasi *DesignBuilder*, 2011

Grafik pada gambar 12 diatas memperlihatkan kecenderungan suhu ruang menurun ketika bukaan ventilasi diperbesar. Pola ini memiliki pola logaritmik di mana efektifitas bukaan semakin berkurang ketika bukaan diperbesar. Titik baliknya adalah pada angka 80% di mana setelah melewati angka tersebut, suhu ruang tidak lagi banyak terpengaruh oleh luasan bukaan. Data ini kemudian dimanfaatkan sebagai masukan bagi luasan bukaan ventilasi optimum terhadap luas jendela dari percobaan sebelumnya.

Studi Rasio Luas Jendela - Ventilasi terhadap Suhu Ruang

Studi ini merupakan gabungan dari kedua studi sebelumnya, di mana variabel yang ditetapkan adalah rasio luasan jendela dan luasan ventilasi terhadap suhu udara dalam ruang. Kombinasi dari kedua variabel tersebut kemudian membentuk pola grafik seperti pada gambar 13.



Gambar 13. Kurva pengaruh WWR dan luas bukaan ventilasi terhadap suhu ruang.

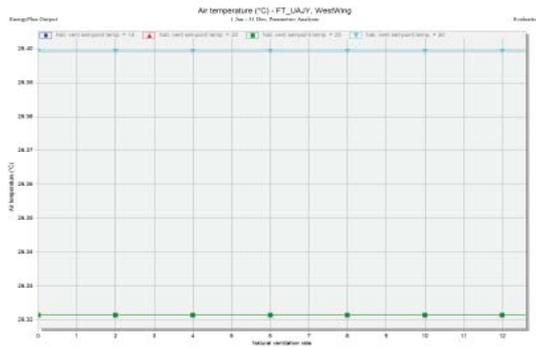
Sumber: Hasil simulasi *DesignBuilder*, 2011

Sebagai efek gabungan dari studi sebelumnya, grafik diatas menunjukkan kecenderungan yang merupakan asimilasi kedua variabel terteliti. Rasio luas jendela dengan dinding 60-80% adalah paling efektif kaitannya dengan upaya reduksi suhu dalam ruang. Setelah dikombinasikan dengan bukaan ventilasi 60-80% terhadap luas jendela terbukti mampu menyediakan solusi optimal bukaan terhadap suhu dalam ruang.

Studi Tingkat Pergantian Udara – Perilaku Adaptif Penghuni terhadap Suhu Ruang

Studi tingkat pergantian udara (*Air Change Rate*) dalam ruang kelas dan perilaku adaptif yang dilakukan penghuni dengan variasi suhu batas untuk membuka jendela ruang diperbandingkan untuk melihat efeknya terhadap perubahan suhu dalam ruang. Adapun angka ACH yang diaplikasikan untuk studi ini adalah 2, 4, 6, 8, 10, dan 12. Sedangkan suhu batas aktivasi bukaan ventilasi alami adalah 15°C, 20°C, 25°C, dan 30°C. Kombinasi ketiga variabel tersebut terlihat dalam pola grafik pada gambar 14.

Pola yang terbentuk oleh ketiga variabel terteliti diatas memperlihatkan tidak adanya keterkaitan antara jumlah pergantian udara dalam ruang (ACH) dengan suhu udara dalam



Gambar 14. Kurva ACH dan perilaku adaptif bukaan terhadap suhu ruang.

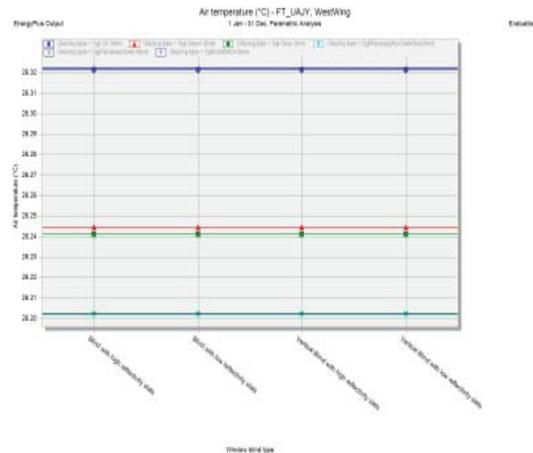
Sumber: Hasil simulasi *DesignBuilder*, 2011

ruang, lebih tergantung pada keberadaan sumber panas dalam ruang, ditunjukkan dengan suhu udara yang selalu sama pada tiap jumlah pergantian udara yang diubah. Satu-satunya efek yang terlihat adalah perilaku adaptif penghuni ketika memanfaatkan ventilasi alami dengan mengaktifkan bukaan pada suhu batas 30°C. Pada suhu batas (*set point temperature*) tersebut, suhu ruang meningkat hingga 0.1°C.

Studi Bahan Kaca Jendela – Bahan *Interior Blind* terhadap Suhu dalam Ruang

Untuk mendapatkan informasi mengenai bagaimana pengaruh bahan jendela dan tipe kerai terhadap suhu udara dalam ruang, maka perlu dilakukan studi parametrik variabel-variabel tersebut. Sekali lagi variabel suhu udara dalam ruang dijadikan patokan untuk menentukan keberhasilan variabel bahan dan tipe jendela serta kerai yang diaplikasikan pada sisi dinding luar. Bahan kaca jendela ditetapkan berdasarkan jenis yang beredar di pasaran, antara lain kaca *single clear* 3mm, *single green* 3mm, *single grey* 3mm, dan kaca khusus tahan panas matahari tipe Panasap produksi Asahimas dengan ketebalan yang sama. Sedangkan jenis *interior blind* yang diaplikasikan adalah horisontal dan vertikal *blind* berbahan reflektif tinggi (terang) serta rendah (gelap).

Hasil simulasi ketiga variabel pada gambar 15 diatas menunjukkan adanya perbedaan suhu udara dalam ruang ketika berbagai jenis bahan jendela diterapkan. Kaca jenis Panasap memiliki performa yang paling baik untuk menurunkan suhu dalam ruang dibandingkan jenis kaca lain hingga 0.15°C. Perlu ditekankan bahwa angka yang timbul



Gambar 15. Kurva pengaruh bahan kaca jendela dan bahan kerai internal terhadap suhu ruang.

Sumber: Hasil simulasi *DesignBuilder*, 2011

merupakan estimasi dalam tahun, sehingga tidak menunjukkan signifikansi yang jelas. Dapat dimaklumi karena jenis kaca ini dapat efektif hanya sekitar 4-6 jam sehari saat matahari bersinar terik. Di sisi lain, variasi jenis *interior blind* tidak memiliki efek yang menguntungkan terhadap suhu dalam ruang.

Kesimpulan Studi *DesignBuilder*

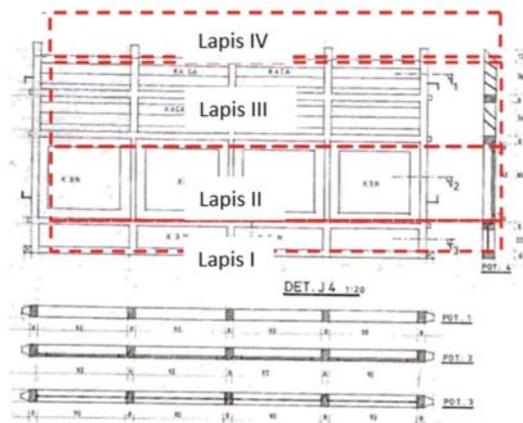
Secara umum, simulasi performa ventilasi alami tahunan dengan *DesignBuilder* menggunakan metode parametrik berbagai macam variabel studi memperlihatkan hasil yang kurang signifikan terhadap suhu udara dalam ruang. Deviasi tertinggi hingga 0.7°C per tahun dicatatkan oleh variabel yang berhubungan langsung dengan bukaan ruang, yaitu luasan bukaan ventilasi pada jendela (*external window open*). Bahan kaca jendela menduduki peringkat performansi berikutnya dengan deviasi 0.15°C, kemudian disusul oleh perilaku adaptif pengguna dengan kondisi suhu batas ekstrem 30°C.

Temuan-temuan diatas membuktikan bahwa untuk kasus ventilasi alami, peran *inlet* (bukaan masuk) dan *outlet* (bukaan keluar) adalah sangat penting. Berdasarkan fakta tersebut, maka penelitian berikutnya berfokus pada model bukaan ruang saja.

Studi Performa Ventilasi Alami Ruang Kelas Eksisting

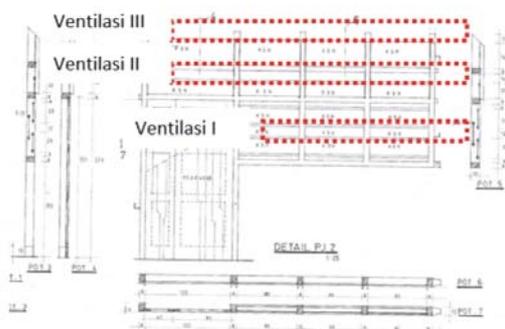
Tipe jendela *inlet* eksisting merupakan kombinasi dari berbagai jenis bukaan. Pada gambar 16, jendela dibagi menjadi empat

bagian besar secara vertikal, dengan bagian paling bawah 0.5 – 0.8 m dari permukaan lantai adalah kaca mati *sandblast*, lapis kedua adalah jendela *awning* yang dapat dibuka hingga 60° pada ketinggian 0.8 – 1.8 m, lapis ketiga adalah jendela nako menyerupai jalusi yang dapat dibuka hingga 90° pada ketinggian 1.8 – 2.8 m, sedangkan lapis keempat adalah lubang ventilasi terbuka dari ketinggian 2.8 m sampai langit-langit 3.2 m.



Gambar 16. Pembagian lapisan pada buka-an *inlet*
 Sumber: Dokumen penulis, 2011

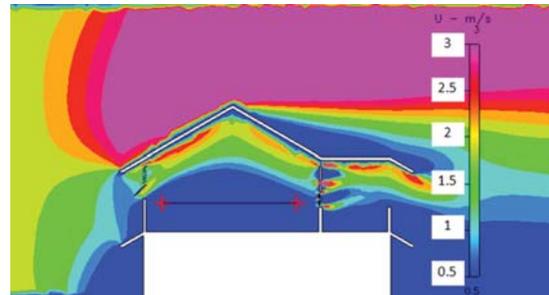
Tipe jendela *outlet* eksisting tidak memiliki buka-an hidup sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan berbagai skenario buka-an secara adaptif oleh penghuni. Walau demikian terdapat beberapa buka-an untuk ventilasi udara yang diselipkan diantara ruas jendela seperti pada gambar 17 di bawah ini.



Gambar 17. Posisi ventilasi udara pada buka-an *outlet*
 Sumber: Dokumen penulis, 2011

Sesuai dengan rencana awal, kondisi eksisting terlebih dahulu dikaji performa ventilasi alaminya. Penentuan posisi dan sudut

elemen jalusi awal ditentukan berdasarkan temuan lapangan. Hasil dari simulasi tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 18. Kontur kecepatan angin (m/s) kondisi eksisting.

Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Gambar 18 menunjukkan bahwa pada bidang kerja yang diwakili oleh garis lurus horisontal dengan kedua ujung bertanda plus berwarna merah, profil kecepatan anginnya berwarna biru. Artinya adalah pada area tersebut kecepatan angin kurang dari 0.5 m/s, artinya tidak termasuk dalam zona nyaman yang telah ditetapkan antara 0.5 – 1.5 m/s.

Perlu melakukan kajian lebih lanjut mengenai kemungkinan-kemungkinan model buka-an eksisting yang lain. Untuk mempermudah penyampaian, dilakukan penyederhanaan pada model-model buka-an yang diuji. Penyederhanaan ini diwakili oleh simbol-simbol pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Gambar dan makna simbol buka-an

Simbol	Model Buka-an		Makna
	Awning	Jalusi	
/			jalusi miring ke atas
\			jalusi miring ke bawah
-			jalusi terbuka horisontal
x			jalusi tertutup

Sumber: Pemikiran penulis, 2011

Sedangkan modifikasi tiap lapis III sampai lapis I diperlihatkan oleh urutan simbol. Misalnya, simbol //x adalah bukaan dengan lapis III dan II miring ke atas sedangkan lapis I tertutup. Simbol ^x adalah bukaan dengan lapis III miring ke atas, lapis II miring ke bawah, dan lapis I tertutup, demikian seterusnya.

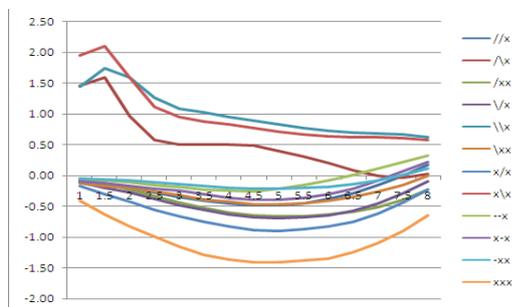
Tabel 2. Contoh model bukaan kondisi eksisting.

Model Bukaan //x	Model Bukaan \x	Model Bukaan ^x

Sumber: Dokumen penulis, 2011

Model pada tabel 2 diatas dan kombinasi yang lain disimulasikan demi mengidentifikasi perilaku angin dalam ruang.

Hasil simulasi pada gambar 19 menunjukkan perilaku angin yang kurang baik, ditandai dengan banyaknya aliran balik yang terjadi. Angka rerata tidak memberikan solusi kriteria kenyamanan yang ditentukan. Hanya model \x dan x\x yang memberikan hasil baik dari kejadian kecepatan angin yang tinggi terekam pada tiap titik ukur. Kecepatan rata-rata kedua model tersebut adalah 1 m/s dan 0.98 m/s, sedangkan tingkat kemerataannya adalah 0.62:1 = 0.62 dan 0.58:0.98 = 0.59.



Gambar 19. Grafik kecepatan angin (m/s) pada kondisi eksisting.

Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Kemudian dilakukan perhitungan dengan simulasi CFD sesuai dengan skenario yang telah ditentukan sebelumnya.

Studi Variasi Bukaan Ruang Kelas

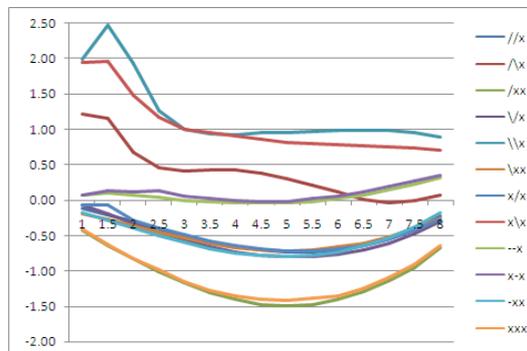
Diketahui bahwa desain bukaan yang ada mampu mencukupi kebutuhan ventilasi alami meski hanya pada beberapa model saja. Skenario pertama menukar posisi lapis II dan lapis III pada inlet sehingga jendela *awning* berada di atas kaca nako (Tabel 3).

Tabel 3. Contoh model bukaan skenario I

Model Bukaan //x	Model Bukaan \x	Model Bukaan ^x

Sumber: Dokumen penulis, 2011

Hasil terbaik dimiliki model \x dan x\x. Kecepatan angin lebih tinggi, rerata 1.22m/s dan 1.04m/s. *Uniformity ratio* 0.73 dan 0.68 (Gambar 20).



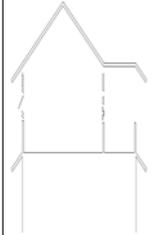
Gambar 20. Grafik kecepatan angin (m/s) skenario I pada bidang kerja.

Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Skenario II dibatasi pada perubahan bukaan inlet lapis I dan melibatkan sudut kemiringan elemen kisi-kisi jendela nako dan jendela *awning* pada lapis II dan III, sedangkan lapis IV dibiarkan seperti semula sebagai lubang ventilasi atas. Kombinasi seluruh kemungkinan tersebut disimulasikan untuk mendapatkan pola distribusi kecepatan angin yang terjadi pada bidang kerja.

Hasil simulasi untuk skenario II pada gambar 21 di bawah memberikan gambaran

Tabel 4. Contoh model bukaan skenario II.

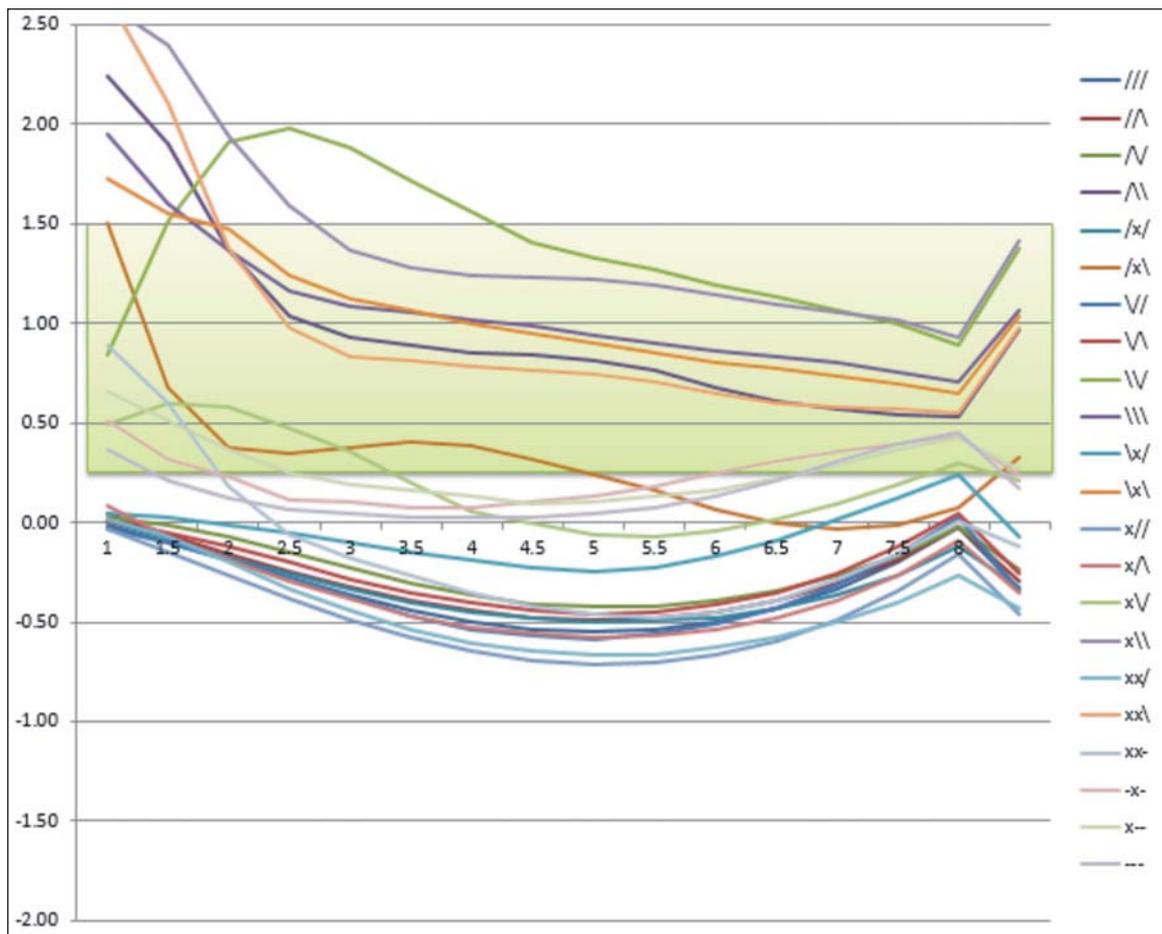
		
Model Bukaan //	Model Bukaan /~	Model Bukaan /\ /

Sumber: Dokumen penulis, 2011

berupa data numerik dengan model /~, /V, //, \x, x~, dan xx\ yang memenuhi persyaratan ventilasi alami. Masing-masing model tersebut memiliki kecepatan rata-rata 0.97, 1.38, 1.07, 1.04, 1.42, dan 0.98 m/s. Angka keseragamannya adalah 0.55, 0.61, 0.65, 0.63, 0.65, dan 0.56. Terdapat fenomena menarik yang terjadi, pertama, seluruh model yang

memenuhi syarat memiliki bukaan mayoritas ke lantai dengan lapis II tidak boleh mengarah ke atas. Kedua, kasus aliran balik dengan nilai negatif terjadi jika bukaan mayoritas mengarah ke plafon, khususnya pada lapis II. Ketiga, bukaan horisontal tidak berpengaruh baik terhadap kriteria ventilasi alami karena aliran banyak kehilangan momentum sehingga kurang mampu menciptakan kecepatan angin yang memadai.

Percobaan skenario III memiliki kasus yang mirip dengan skenario II, perubahan hanya dilakukan dengan menukar lapis II dan lapis III seperti pada skenario I terhadap kondisi eksisting. Kombinasi seluruh kemungkinan pada tabel 5 disimulasikan untuk mendapatkan pola dan distribusi kecepatan angin yang terjadi pada bidang kerja Adapun hasil simulasinya terangkum dalam grafik pada gambar 22.



Gambar 21. Grafik kecepatan angin (m/s) skenario II pada bidang kerja.

Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Tabel 5. Contoh model bukaan skenario III.

Model Bukaan ///	Model Bukaan /\	Model Bukaan \/

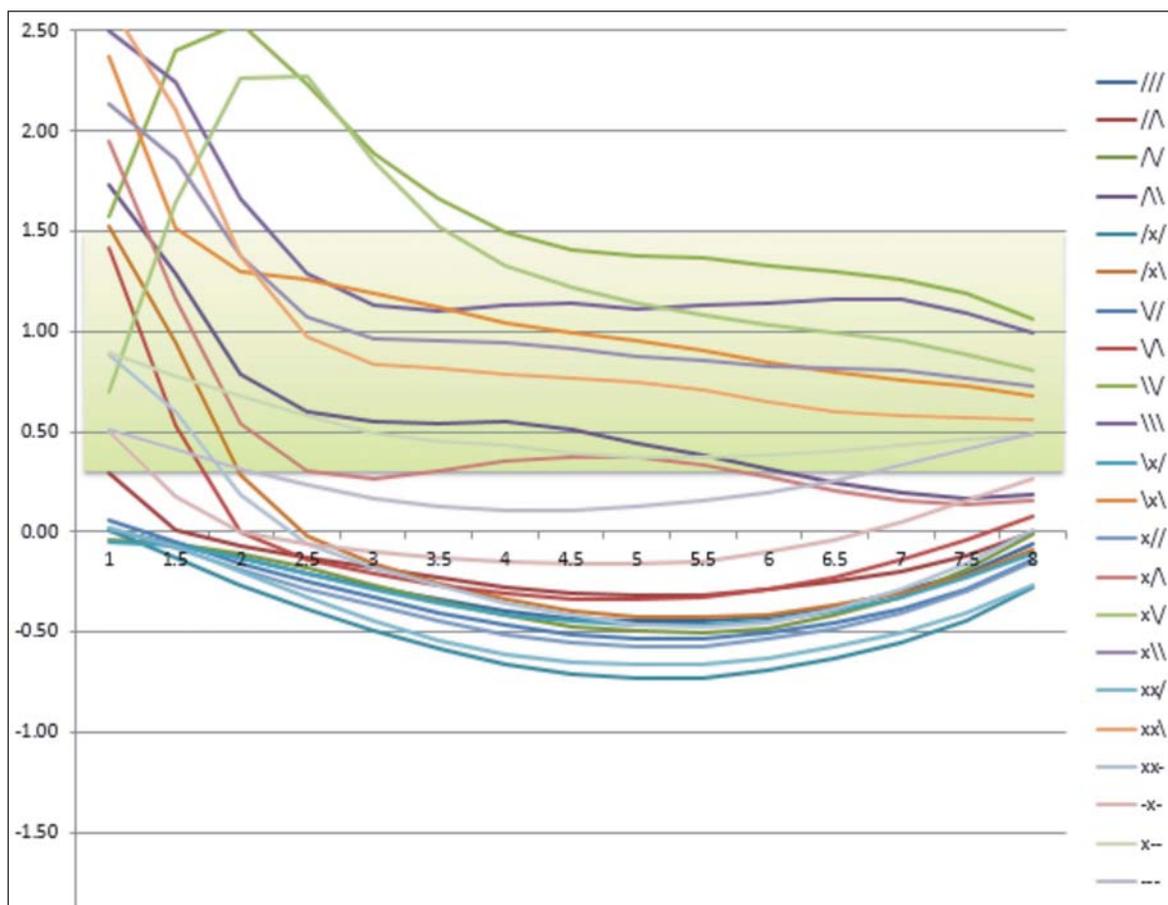
Sumber: Dokumen penulis, 2011

Gambar 22 di bawah ini memberikan gambaran berupa data numerik dengan model /\, \/, \/, \x/, x/, x\, xx/, dan x-- yang memenuhi persyaratan ventilasi alami. Masing-masing model tersebut memiliki kecepatan rata-rata 0.57, 1.60, 1.33, 1.10, 1.31, 1.06, 0.98 dan 0.51 m/s. Angka keseragamannya adalah 0.32, 0.66, 0.74, 0.61, 0.61, 0.69, 0.56, dan 0.73. Terdapat fenomena yang sama dan

berbeda terjadi, pertama bahwa seluruh model yang memenuhi syarat harus memiliki bukaan mayoritas ke lantai dengan lapis II tidak boleh mengarah ke langit-langit. Kedua, kasus aliran balik dengan nilai negatif terjadi jika bukaan lapis II atau mayoritas mengarah ke langit-langit. Ketiga, bukaan horisontal ada yang memiliki berpengaruh baik terhadap kriteria ventilasi alami karena aliran tidak banyak kehilangan momentum pada lapis II yang telah ditukar.

Kesimpulan Studi Variasi Bukaan Ruang Kelas

Dari seluruh eksperimen posisi bukaan inlet yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa kondisi eksisting memiliki performa ventilasi alami yang sudah cukup baik dengan dua model mampu memenuhi kriteria desain dan menghasilkan pemerataan 0.6. Percobaan skenario I dilakukan dengan



Gambar 22. Grafik kecepatan angin (m/s) skenario III pada bidang kerja.
 Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

menunjukkan bukaan *inlet* lapis II dan lapis III mampu meningkatkan performansi karena memiliki kecepatan angin lebih tinggi 0.2 m/s serta tingkat pemerataan yang lebih baik, yaitu 0.7. Eksperimen skenario II dilakukan dengan mengubah bukaan eksisting lapis I menjadi jendela hidup berupa nako, hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat 6 model bukaan mampu mencapai kriteria desain dan tingkat pemerataan 0.61. Sedangkan percobaan skenario III menunjukkan posisi lapis II dan III mampu memperlihatkan peningkatan performa lebih lanjut dengan jumlah bukaan baik mencapai 8 model serta memiliki tingkat pemerataan lebih tinggi pula menjadi 0.62.

Studi Variasi Teritisan

Tahap penelitian berikutnya yang akan dilakukan yaitu memanfaatkan informasi yang didapatkan dari percobaan posisi bukaan dengan tujuan untuk menentukan jenis teritisan jendela yang paling tepat dan memiliki performa penghawaan yang terbaik dari sisi distribusi angin dan kemerataannya dalam ruang. Adapun informasi awal yang digunakan untuk melakukan simulasi teritisan ini adalah menetapkan kondisi eksisting yang telah ada sebagai *benchmark* untuk 8 model lain yang telah teruji mampu memenuhi kriteria desain ventilasi alami (Tabel 6), yaitu model \wedge , \vee , \parallel , $|x|$, $x|$, $x|x$, $xx|$, dan $x--$. Selain itu, diuji pula beberapa model bukaan yang sebelumnya tidak memenuhi kriteria desain seperti $///$, $/x|$, $-x-$, dan $---$ (Tabel 7) sebagai contoh kasus tambahan untuk nantinya dilihat bagaimana efek penghawaan yang akan terjadi dengan adanya perubahan-perubahan jenis teritisan pada jendela inlet.

Tabel 6. Contoh model bukaan lolos uji pada studi teritisan.

Model Bukaan \wedge	Model Bukaan \vee	Model Bukaan \parallel	Model Bukaan $ x $	Model Bukaan $x--$

Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Tabel 7. Contoh model bukaan tidak lolos uji pada studi teritisan.

Model Bukaan $///$	Model Bukaan $/x $	Model Bukaan $-x-$	Model Bukaan $---$

Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Tipe teritisan yang diuji performanya dalam mendukung ventilasi alami dalam ruang ditetapkan menjadi empat jenis seperti pada tabel 8. Model pertama adalah model teritisan eksisting dengan teritisan miring (*sloped*) yang merupakan ekstensi atap, model kedua adalah teritisan horisontal menyatu (*attached*) dengan dinding luar paling atas, model ketiga adalah model kedua dengan rongga udara antara teritisan dengan dinding luar (*detached*), serta model keempat adalah model ketiga dengan teritisan berongga-rongga (*porous*).

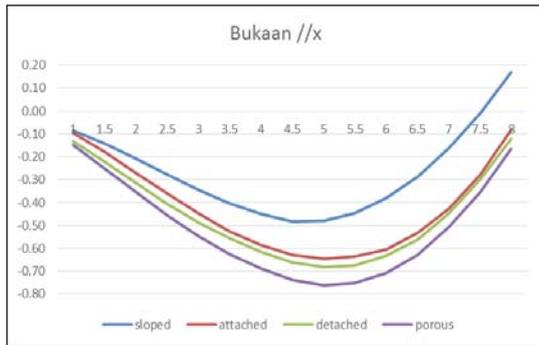
Tabel 8. Jenis-jenis teritisan yang diuji.

Model <i>Sloped</i>	Model <i>Attached</i>	Model <i>Detached</i>	Model <i>Porous</i>

Sumber: Pemikiran penulis, 2011

Studi ini menghasilkan perilaku angin pada tiap model teritisan pada kondisi eksisting sebagai berikut.

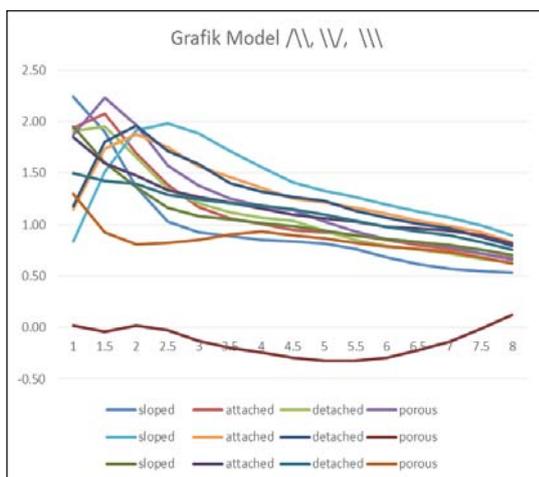
Gambar 23 menunjukkan bahwa aplikasi berbagai model teritisan memiliki pengaruh terhadap kejadian kecepatan angin pada tiap titik ukur dalam ruang. Kondisi eksisting dengan teritisan eksisting (*sloped*) memiliki performa terburuk yang ditandai oleh angka kecepatan rerata 0.27 m/s dan pemerataan



Gambar 23. Hasil simulasi kecepatan angin (m/s) dengan teritisan pada kondisi eksisting (model *sloped*).

Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

0.04. Sedangkan aplikasi tipe teritisan terbaik dibuktikan oleh tipe berongga (*porous*) dengan angka rerata 0.51 m/s dan pemerataan 0.29. Angka negatif pada kecepatan angin tidak diperhitungkan karena hanya merupakan indikasi aliran balik saja. Untuk mencari tipe teritisan terbaik, perlu dilakukan uji lebih lanjut pada model-model bukaan lulus uji dengan contoh hasil sebagai berikut.



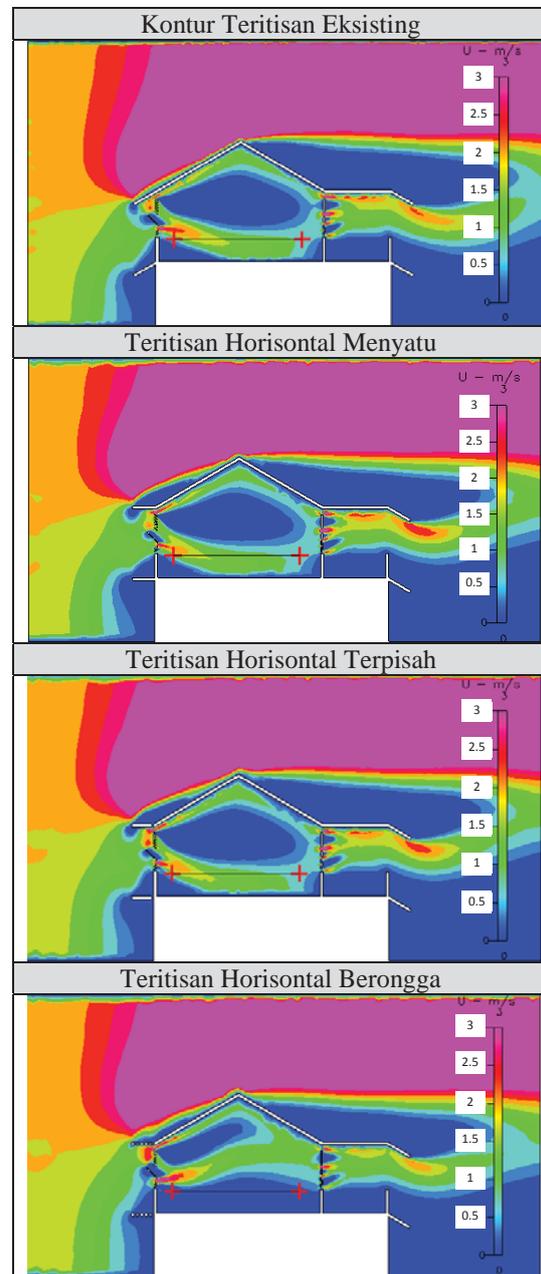
Gambar 24. Hasil simulasi kecepatan angin (m/s) dengan teritisan pada model bukaan lolos uji (A).

Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Berdasarkan gambar 24 diatas, model bukaan lolos uji (A) tidak banyak terpengaruh oleh aplikasi berbagai jenis teritisan terpilih. Deviasi terbesar hanya terjadi pada model $\backslash\backslash$ di mana aplikasi teritisan berongga memberikan dampak buruk terhadap performa ventilasi alami dalam ruang. Angka kecepatan angin rata-rata pada kondisi eksiting model ini yang telah masuk kategori baik 1.38 m/s secara drastis turun hingga 0.14 dengan arah

berlawanan arah angin. Hal ini dapat dijelaskan dengan ilustrasi di bawah ini.

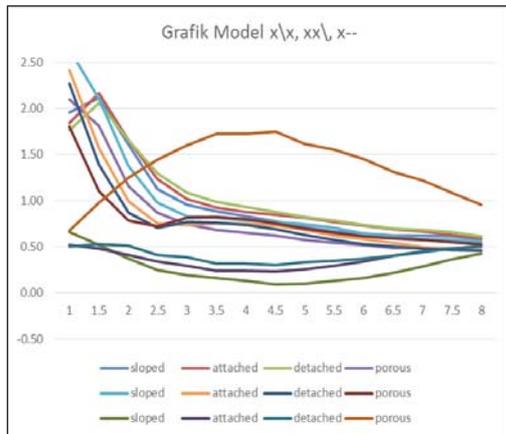
Tabel 9. Komparasi kontur kecepatan angin (m/s) pada model $\backslash\backslash$ dengan variasi teritisan yang diuji



Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Tabel 9 diatas memberikan penjelasan bagaimana jenis teritisan berongga memberikan hasil yang ekstrim pada bidang kerja dibanding jenis teritisan lain. Pada jenis teritisan ini angin membelok naik ke arah langit-langit menghindari bidang kerja oleh momentum yang besar terjadi di lubang ventilasi lapis IV. Momentum ini kemudian menarik angin yang

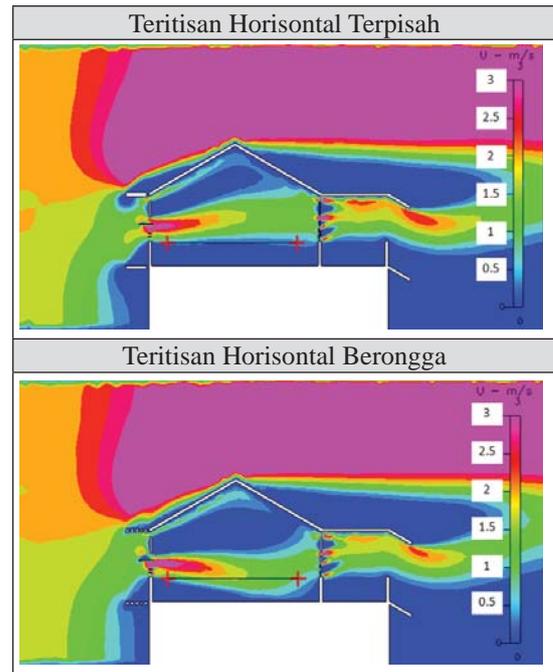
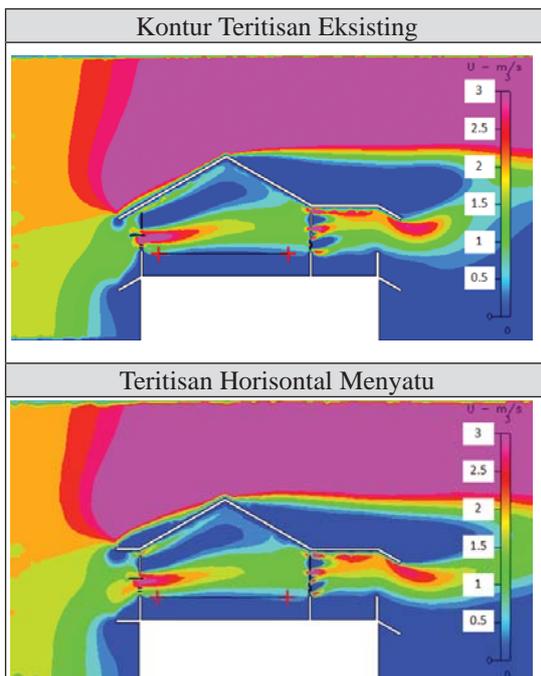
masuk melalui lapis I dan II untuk naik (*venturi effect*) dan menghasilkan efek turbulen (*eddy*) berkecepatan rendah pada bidang kerja.



Gambar 25. Hasil simulasi kecepatan angin (m/s) dengan teritisan pada model bukaan lolos uji (B).
Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Menurut gambar 25 diatas, jenis teritisan berongga memberikan pengaruh yang baik secara signifikan pada model bukaan x--. Kecepatan rata-rata eksisting 0.27 m/s dan pemerataan 0.33 berhasil ditingkatkan menjadi 1.36 m/s dan 0.5, Indikasi menarik ini kemudian dikaji lebih lanjut dengan memberikan ilustrasi di bawah ini.

Tabel 10. Komparasi kontur kecepatan angin (m/s) pada model x— dengan variasi teritisan yang diuji.

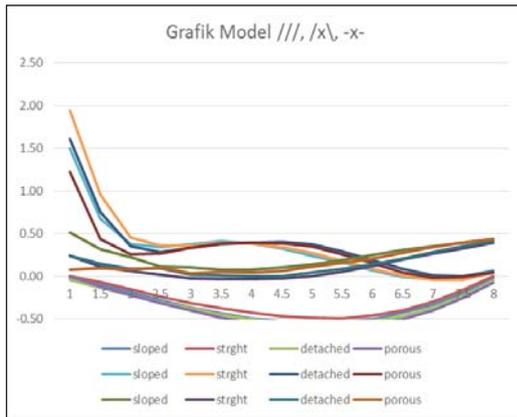


Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Tabel 10 yang disajikan diatas menunjukkan perbandingan secara langsung kontur kecepatan angin pada masing-masing ruang dalam ketika dilengkapi oleh jenis-jenis teritisan yang berbeda. Perbedaan mencolok terjadi pada kasus teritisan berongga di mana angin langsung berhembus mengarah langsung ke bidang kerja sehingga mampu meningkatkan kecepatan angin dan sekaligus memperbaiki tingkat distribusi serta kemerataannya di area tersebut. Berbeda dengan kasus sebelumnya, pada model ini momentum pada bagian langit-langit teritisan berongga paling kecil sehingga tidak cukup kuat menarik angin untuk naik.

Untuk meneliti bagaimana pengaruh perubahan jenis teritisan pada kasus bukaan yang tidak lolos uji peletakan posisi dan sudut kemiringan elemen kisi-kisi sebelumnya, kemudian dilakukan simulasi lanjutan kasus terkait dengan hasil seperti gambar 26.

Hasil percobaan variasi teritisan pada model bukaan tidak lolos uji tidak menghasilkan perubahan yang signifikan. Hal ini membuktikan bahwa model teritisan tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap perilaku angin dalam ruang. Variabel posisi dan sudut bukaan lebih mendominasi dengan sasaran tercapainya performansi ventilasi alami yang diharapkan.



Gambar 26. Hasil simulasi kecepatan angin (m/s) dengan teritisan pada model bukaan tidak lolos uji (B).

Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Kesimpulan Studi Variasi Teritisan

Eksperimen pada studi variasi teritisan menyimpulkan bahwa elemen ini tidak banyak memberikan pengaruh terhadap performa ventilasi alami dalam ruang dari sisi distribusi dan kecepatan anginnya. Anomali terdapat pada jenis teritisan berongga, pada satu kasus memberikan efek buruk dan sebaliknya pada kasus yang lain memperlihatkan solusi yang brilian. Studi lanjut mengenai efek teritisan berongga perlu dilakukan untuk benar-benar menakar pengaruhnya terhadap perilaku angin dalam ruang.

Studi Variasi Kerai Eksterior (Louvre)

Pada tahap ini elemen kerai (*louvre*) eksternal dikaji pengaruhnya terhadap hasil-hasil eksperimen sebelumnya. Telah diketahui bahwa peran *louvre* eksternal memberikan efek positif bagi aspek termal ruangan karena menyaring panas matahari langsung yang masuk melalui bukaan ruang. Sasaran studi ini adalah bagaimana aplikasi tersebut dapat memberikan peningkatan performa ventilasi alami. Penerapan *louvre* tanpa mempertimbangkan daya penetrasi atau permeabilitasnya terhadap angin berdampak merugikan bagi upaya pemanfaatan ventilasi alami dalam ruang.

Model *louvre* yang diuji seperti pada tabel 11 adalah model berkisi-kisi horisontal (bersimbol ---), vertikal (bersimbol III), miring ke atas (bersimbol ///), bergradasi

horizontal-miring (bersimbol -//) dan miring-horizontal (bersimbol //-). Kemungkinan model *louvre* miring ke bawah (bersimbol \\\) tidak dimasukkan dalam kategori *louvre* teruji dengan mempertimbangkan fenestrasasi matahari tidak akan tersaring oleh model ini sehingga fungsi *louvre* tidak dapat tercapai.

Tabel 11. Jenis-jenis kerai yang diuji.

Model Kerai ---	Model Kerai III	Model Kerai ///	Model Kerai -//	Model Kerai //-

Sumber: Pemikiran penulis, 2011

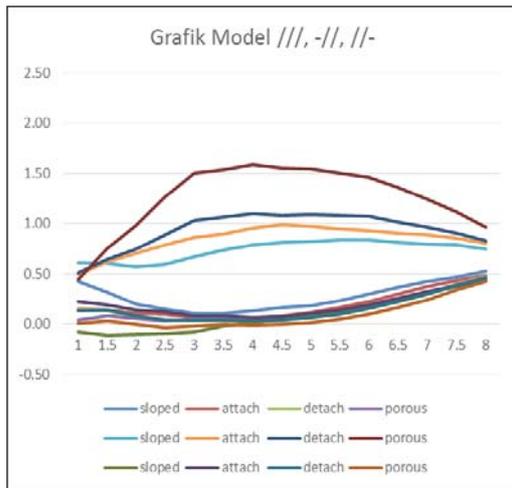
Tipe bukaan yang diuji pada studi ini tidak menggunakan model-model lolos uji eksperimen sebelumnya. Untuk memberikan efek netral, percobaan dilakukan dengan menggunakan model bukaan inlet terbuka horisontal seluruh lapis (---) dan mencari kemungkinan yang terjadi jika lapis II ditutup (-x-) seperti pada tabel 12 di bawah.

Tabel 12. Model bukaan yang diuji.

Model Bukaan ---	Model Bukaan -x-

Sumber: Pemikiran penulis, 2011

Simulasi dilakukan dengan metode yang sama dengan studi-studi sebelumnya, perubahan hanya dilakukan dengan memodelkan *louvre* terpilih saja. Hasil studi kerai (*louvre*) pada bukaan inlet terbuka horisontal seluruh lapis (---) memberikan hasil sebagai berikut.



Gambar 27. Hasil simulasi kecepatan angin (m/s) pada model bukaan terbuka horisontal seluruh lapis (---).

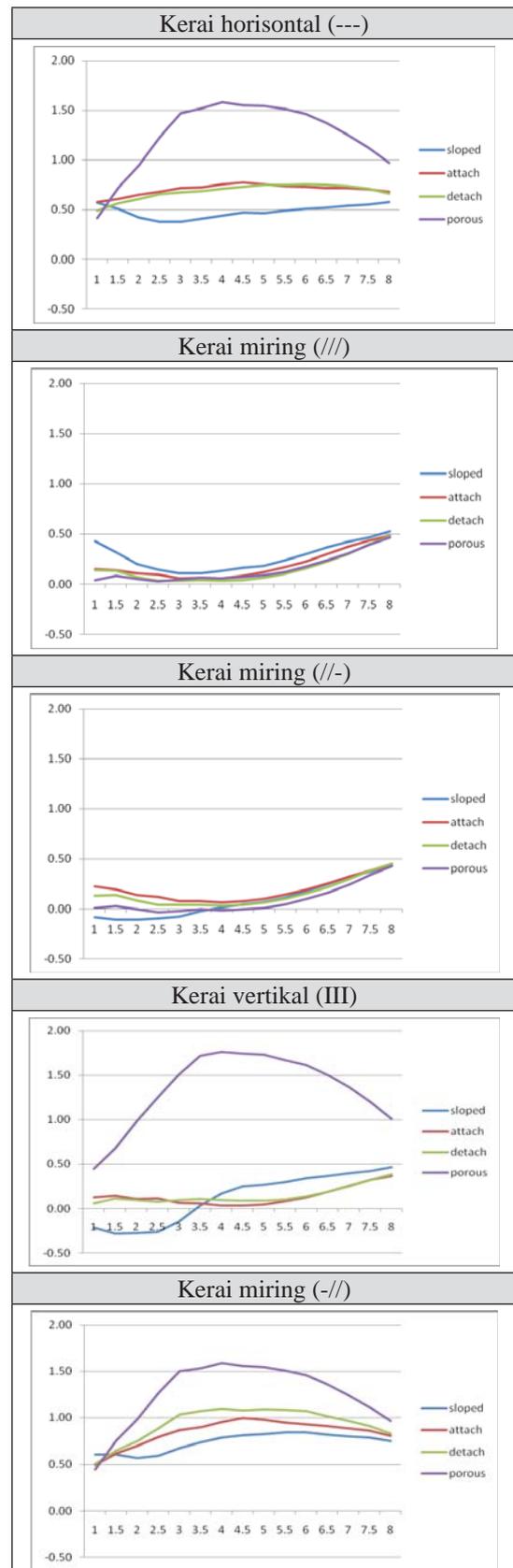
Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Gambar 27 diatas memperlihatkan kejadian kecepatan angin yang terjadi pada masing-masing kasus kerai pada tiap jenis teritisan, yaitu kerai horisontal (---) menimbulkan angin dalam ruang dengan kecepatan rata-rata 0.78 m/s dan pemerataan 0.62, kerai vertikal (III) memiliki kecepatan rata-rata 0.44 m/s dan pemerataan 0.28, kerai miring atas (///) 0.19 m/s dan 0.78, kerai horisontal-miring (-//) 0.94 m/s dan 0.78, serta kerai miring-horisontal (//-) 0.13 m/s dan 0.67. Adapun angka-angka tersebut dapat diterjemahkan bahwa pada kasus bukaan inlet terbuka seluruhnya, performa terbaik ventilasi alami didapatkan oleh kerai horisontal-miring (-//) diikuti oleh kerai horisontal (---), sedangkan kerai vertikal (III), miring atas (///), dan miring-horisontal (//-) tidak menghasilkan angka yang memenuhi syarat kenyamanan (< 0.5 m/s).

Metode analisis performa ventilasi alami pada studi ini dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas grafik dengan sasaran mencari jenis *louvre* terbaik berdasarkan berbagai jenis teritisan yang diaplikasikan. Hasil komparasi dengan ilustrasi grafik garis pada model bukaan *inlet* terbuka horisontal seluruh lapis (---) tergambar dalam tabel 14.

Hasil pada Tabel 14 menegaskan peran *louvre* untuk mendukung ventilasi alami dalam

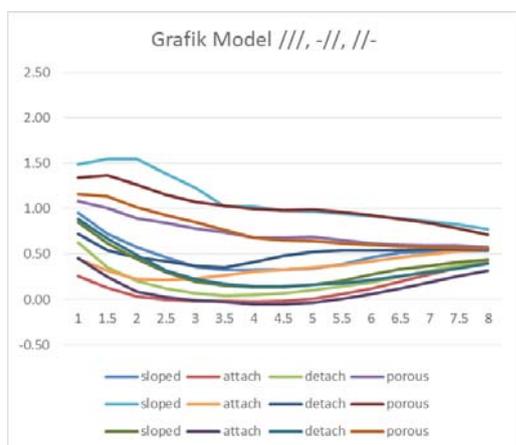
Tabel 14. Komparasi kecepatan angin (m/s) pada seluruh jenis kerai dengan model bukaan *inlet* terbuka horisontal seluruh lapis (---).



Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

ruang. Kerai horisontal (---) dan horisontal-miring (-//) menjaga performa seluruh jenis teritisasi berada pada zona nyaman 0.5 – 1.5 m/s. Kerai vertikal (III) memberikan solusi bagi jenis teritisasi miring (*sloped*), sedang louvre miring atas (///) dan miring-horisontal (//-) tidak menunjukkan pengaruh yang baik.

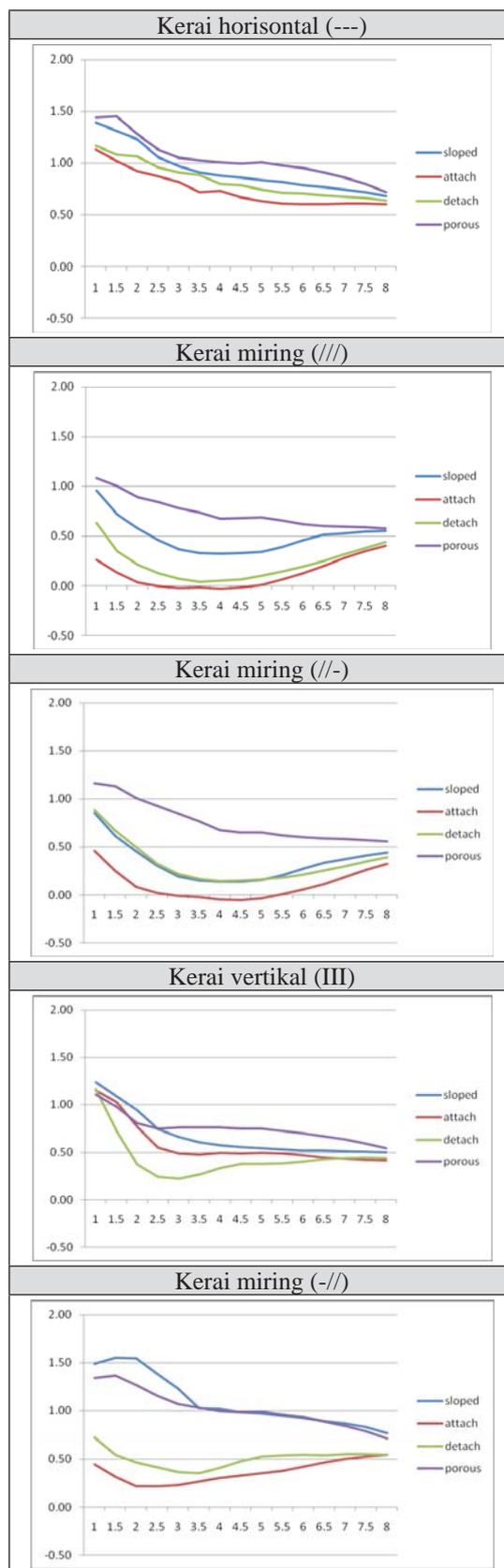
Penerapan kerai pada variasi bukaan saat luasan bukaan dikurangi dengan menutup jendela *awning* dapat diketahui dari hasil simulasi kerai pada bukaan lapis II yang tertutup dan lapis I serta II tetap terbuka horisontal (-x-) pada gambar 28 berikut.



Gambar 28. Hasil simulasi kecepatan angin (m/s) pada bukaan lapis II tertutup (-x-).
Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Kerai horisontal (---) menimbulkan angin dalam ruang dengan kecepatan rerata 0.89 m/s dan pemerataan 0.84, kerai vertikal (III) memiliki kecepatan rata-rata 0.61 m/s dan pemerataan 0.72, kerai miring atas (///) 0.39 m/s dan 0.30, kerai horisontal-miring (-//) 0.75 m/s dan 0.49, serta kerai miring-horisontal (//-) 0.38 m/s dan 0.28. Adapun angka-angka tersebut dapat diterjemahkan bahwa pada kasus bukaan inlet terbuka sebagian dengan menutup jendela *awning* pada lapis II, performa terbaik ventilasi alami didapatkan oleh kerai horisontal (---) diikuti oleh kerai horisontal-miring (-//) dan kerai vertikal (III), sedangkan kerai miring atas (///), dan miring-horisontal (//-) tetap tidak dapat menghasilkan angka yang memenuhi syarat kenyamanan (< 0.5 m/s). Adapun hasil komparasi pada model bukaan inlet horisontal tertutup sebagian (-x-) adalah seperti pada tabel 15 di bawah ini,

Tabel 15. Komparasi kecepatan angin (m/s) pada seluruh jenis kerai dengan model bukaan *inlet* lapis II tertutup (-x-).



Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

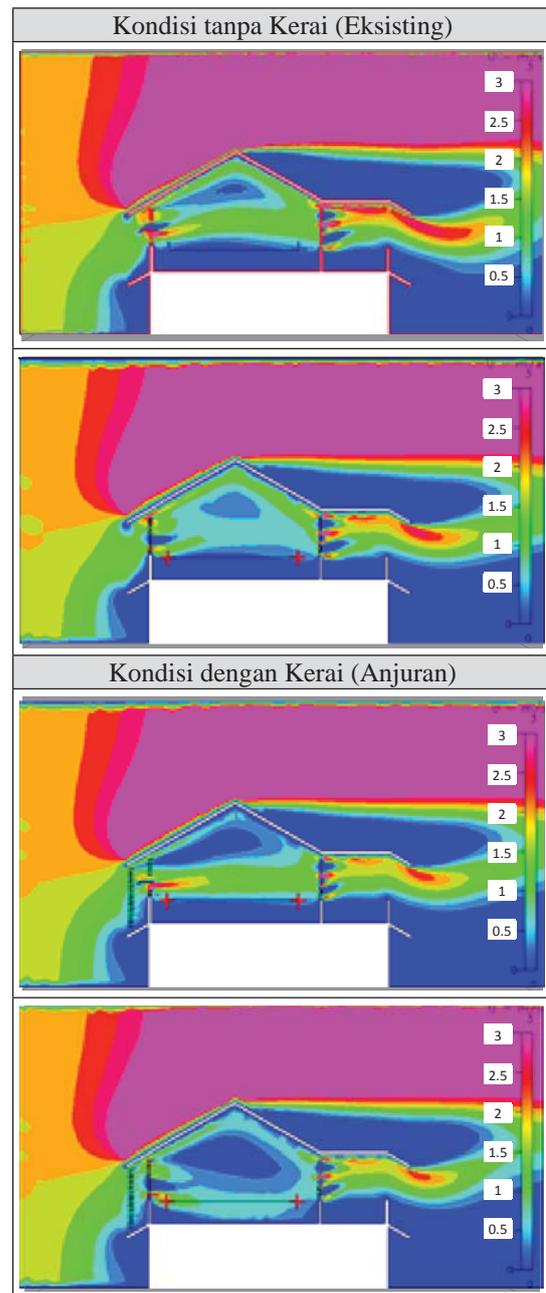
Hasil simulasi dengan menutup bukaan pada lapis II diatas menunjukkan perilaku angin yang lebih baik. Pengurangan bukaan memberikan dampak yang positif pada intensitas dan distribusi angin dalam ruang. Perubahan signifikan terjadi pada kerai vertikal (III), di mana tren kecepatan angin meningkat dan distribusinya merata pada seluruh tipe-tipe teritisan dan titik-titik ukurnya. Sebagai perbandingan, kecepatan rerata dan pemerataan distribusinya sebelum bukaan dipersempit adalah 0.44 m/s dan 0.28. Setelah bukaan diperkecil, kecepatan meningkat menjadi 0.61 m/s bahkan kemerataannya melonjak hingga 0.72. Hal ini terjadi karena kombinasi posisi buka-tutup dan efek venturi oleh penyempitan bukaan menyebabkan masing-masing bukaan tidak saling mengintervensi dan melemahkan sehingga angin tetap mampu mengarah lurus tanpa kehilangan momentum ketika masuk ke dalam ruang dengan kecepatan tinggi.

Kesimpulan Studi Variasi Kerai Eksterior

Percobaan dengan memberikan alter-natif-alternatif tipe kerai sebelumnya membuktikan dengan jelas bahwa aplikasi kerai (*louvre*) memiliki peran penting bagi perubahan perilaku angin di dalam ruang kelas. Pemilihan kasus bukaan horisontal sebagai model yang netral menunjukkan bahwa kondisi penghawaan ruang kurang menguntungkan yang semula dialami oleh model ini dapat diatasi oleh pemakaian kerai eksternal yang sesuai. Sebagai perbandingan nyata, hasil simulasi dengan model --- dan -x- tanpa kerai memiliki kecepatan rata-rata 0.17 dan 0.24 m/s serta tingkat pemerataan 0.18 dan 0.33. Kemudian saat kerai (*louvre*) dipasang, masing-masing model meningkat performansinya secara signifikan dengan kecepatan rata-rata sampai 1.34 dan 1.09 m/s serta tingkat pemerataan menjadi 0.83 dan 0.79. Jika diperhitungkan secara relatif dalam persentase, dapat disimpulkan bahwa aplikasi kerai mampu meningkatkan kecepatan angin dalam ruang kelas hingga hampir 700% dan menyebarkannya dengan pemerataan hingga hampir 400%.

Tabel 16 secara grafis mengilustrasikan perubahan pola angin yang terjadi dalam ruang kelas ketika belum dilengkapi dan telah dilengkapi oleh kerai.

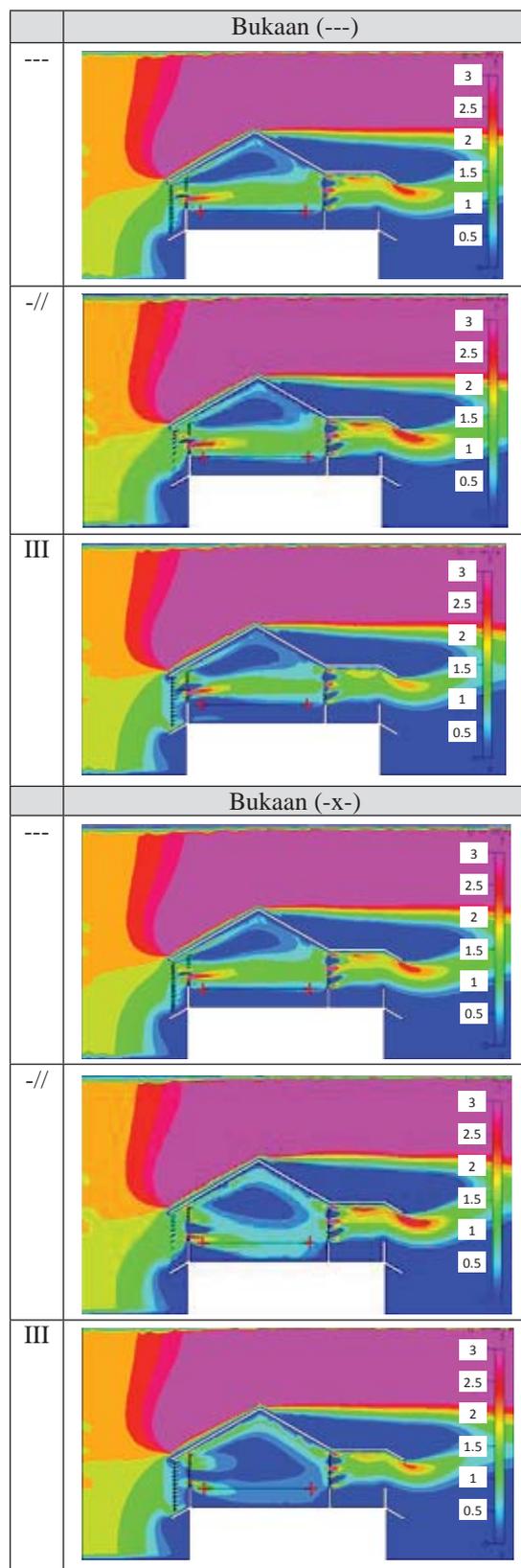
Tabel 16. Komparasi kontur kecepatan angin (m/s) tanpa dan dengan kerai.



Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Jenis kerai dua model bukaan pada tabel 17 dengan bukaan horisontal penuh (---) memberikan kecepatan angin lebih tinggi tetapi besar fluktuasinya dan kurang merata dibandingkan ketika lapis II ditutup (-x-). Adapun jenis kerai terbaik yang dapat mengakomodasi seluruh tipe teritisan dan memberikan hasil merata pada bidang kerja adalah jenis kerai horisontal (---), horisontal-miring (-//), dan vertikal (III).

Tabel 17. Komparasi kontur kecepatan angin (m/s) dengan kerai lolos uji pada bukaan *inlet* (---) dan (-x-).



Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Simulasi performa ventilasi alami tahunan dengan software *DesignBuilder* menggunakan metode parametrik berbagai macam variabel studi memperlihatkan hasil yang kurang signifikan terhadap suhu udara dalam ruang. Deviasi tertinggi hingga 0.7°C per tahun dicatatkan oleh variabel yang berhubungan langsung dengan bukaan ruang, yaitu luasan bukaan ventilasi pada jendela (*external window open*).

Hasil simulasi pergerakan angin dengan software CFD pada elemen bukaan ruang kelas menunjukkan bahwa kondisi eksisting memiliki performansi ventilasi alami yang sudah cukup baik dengan dua model mampu memenuhi kriteria desain dan menghasilkan pemerataan 0.6. Percobaan skenario I dilakukan dengan menukarkan bukaan *inlet* lapis II dan lapis III mampu meningkatkan performansi karena memiliki kecepatan angin lebih tinggi 0.2 m/s serta tingkat pemerataan yang lebih baik, yaitu 0.7. Eksperimen skenario II dilakukan dengan mengubah bukaan eksisting lapis I menjadi jendela hidup berupa nako, hasil simulasi menunjukkan bahwa terdapat 6 model bukaan mampu mencapai kriteria desain dan tingkat pemerataan 0.61. Sedangkan percobaan skenario III menukarkan posisi lapis II dan III mampu memperlihatkan peningkatan performa lebih lanjut dengan jumlah bukaan kategori nyaman mencapai 8 model serta memiliki tingkat pemerataan lebih tinggi pula menjadi 0.62.

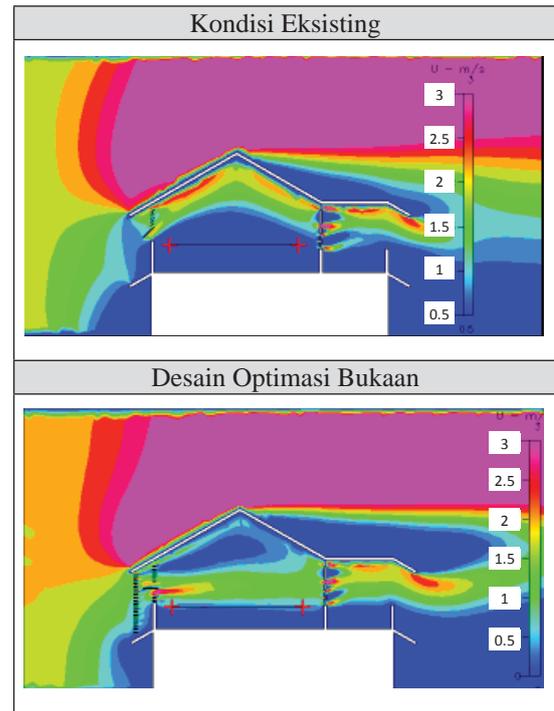
Eksperimen yang dilakukan pada elemen teritisan memperlihatkan bahwa elemen ini tidak banyak memberikan pengaruh terhadap performa ventilasi alami alami dalam ruang dari sisi distribusi dan kecepatan anginnya. Anomali terdapat pada jenis teritisan berongga, pada satu kasus memberikan efek buruk dan sebaliknya pada kasus yang lain memperlihatkan solusi yang brilian. Studi lebih lanjut mengenai efek teritisan berongga perlu dilakukan untuk benar-benar dapat mengidentifikasi pengaruhnya terhadap perilaku angin dalam ruang.

Percobaan dengan memberikan alternatif-alternatif tipe kerai membuktikan

bahwa aplikasi kerai (*louvres*) memiliki peran penting bagi perubahan perilaku angin dalam ruang kelas. Pemilihan kasus bukaan horisontal sebagai model netral mencerminkan bahwa kondisi kurang menguntungkan yang semula dialami oleh model ini dapat diatasi oleh pemakaian kerai eksternal yang sesuai. Sebagai perbandingan, model bukaan *inlet* terbuka horisontal penuh (---) dan model bukaan *inlet* terbuka sebagian (-x-) tanpa kerai memiliki kecepatan rata-rata 0.17 dan 0.24 m/s serta tingkat pemerataan 0.18 dan 0.33. Ketika kerai dipasang, masing-masing model meningkat performansinya secara signifikan dengan kecepatan rata-rata sampai 1.34 dan 1.09 m/s serta tingkat pemerataan menjadi 0.83 dan 0.79. Bukaan *inlet* horisontal penuh (---) walaupun memberikan angka kecepatan angin lebih tinggi tetapi memiliki fluktuasi yang besar dan kurang mengindikasikan distribusi angin yang merata dibandingkan ketika ditutup sebagian (-x-). Walau demikian dengan melihat bahwa tipe bukaan terkait adalah bukaan hidup yang dapat disesuaikan sendiri oleh penghuni, maka hal ini tidak menjadi masalah pelik karena bukaan dapat setiap saat diatur secara manual. Adapun jenis kerai terbaik yang dapat mengakomodasi seluruh tipe teritisan dan memberikan hasil merata pada bidang kerja adalah jenis kerai horisontal (---), horisontal-miring (-//), dan vertikal (III).

Hasil temuan-temuan yang telah dilakukan sebelumnya diatas digunakan sebagai acuan baru untuk mendapatkan konfigurasi bukaan optimum. Studi letak dan posisi bukaan *inlet* telah memberikan masukan yang berharga berupa informasi bahwa perubahan bukaan pada lapis I menjadi jendela hidup dapat menghasilkan performa penghawaan menjadi lebih baik. Studi teritisan yang dilakukan ternyata tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap perilaku ventilasi dalam ruang, sedangkan studi kerai membuktikan bahwa elemen ini berpotensi paling besar untuk dimanfaatkan sebagai alat penentu performa penghawaan dalam kelas. Adapun jenis kerai terbaik adalah kerai horisontal (---) yang kemudian dikomparasikan langsung dengan kondisi eksisting pada tabel 18 di bawah ini.

Tabel 18. Komparasi kontur kecepatan angin (m/s) eksisting dan hasil optimasi.



Sumber: Hasil simulasi CFD, 2011

Saran

Melalui penelitian ini penulis memberikan beberapa saran penelitian, yaitu: [1] Penelitian lanjutan dapat dilakukan pada fokus atau lokus yang sama dengan lebih mendalam pada parameter kenyamanan termal lain seperti suhu udara, radiasi permukaan, atau kelembaban udara; [2] Penelitian kaitannya dengan ventilasi alami dapat diperluas dengan kombinasi bukaan *inlet* dan *outlet*, keberadaan elemen penghalang luar (*lansekap*) serta penghalang dalam (*furniture*) untuk memberikan hasil yang lebih spesifik dan mendetail; dan [3] Penggunaan hasil penelitian ini dapat diterapkan dengan pertimbangan dasar secara metodologi dan tujuannya yang ingin dicapai. Bukan hanya memanfaatkan simulasi sebagai alat bantu saja, melainkan mampu mengkombinasikan berbagai media dan memanfaatkannya menjadi alat pengambil keputusan yang terpercaya dengan data faktual yang komprehensif.

DAFTAR RUJUKAN

Anderson, J. 1995. *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*. USA: McGraw-Hill Book Company.

- Boutet, T. 1987. *Controlling Air Movement*. USA: McGraw-Hill Book Company.
- Chowdury et al. 2006. Low Energi Cooling Technologies for Sub-Tropical/Warm Humid Climate Building Systems. In: *Proceedings of Second National IBPSA-USA Conference*. Cambridge.
- Crawley et al. 2004. Energyplus : An Update. In: *Proceedings of SimBuild 2004, Building Sustainability and Performance Through Simulation*. USA.
- Graca et al. 2003. Designing and Testing of a Control Strategy for a Large, Naturally Ventilated Building. In: *Proceedings of Eighth International IBPSA Conference*. Eindhoven.
- Graca et al. 2005. Design of The Natural Ventilation System for The New San Diego Children's Museum. In: *Proceedings of Ninth International IBPSA Conference*. Montreal.
- Kusumawanto, A. 2010. Pemanfaatan CFD dalam Perancangan Kenyamanan Termal Kawasan Kota. Dalam: Prosiding SCAN #1 Program Studi Arsitektur Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Yogyakarta, Indonesia: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Lechner, N. 2001. *Heating, Cooling, Lighting: Metode Desain untuk Arsitektur Edisi Kedua*. John Wiley & Sons Inc, PT RajaGrafindo Persada, Jakarta.
- Malkawi et al. 2004. *Advanced Building Simulation*. New York and London: Spon Press.
- Marsh, A. 1999. *PsychTool Software*. Australia: Square One Research.
- Mediastika, C. E. 2005. *Akustika Bangunan Prinsip-prinsip dan Penerapannya di Indonesia*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Priatman, J. 2003. "Energi Consciuous Design" Konsepsi dan Strategi Perancangan Bangunan di Indonesia. *Jurnal Dimensi*. Surabaya: Teknik Arsitektur.
- Satwiko, P. 2009. *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Unified Facilities Criteria (UFC) 3-440-06N. 16 January 2004. *Cooling Buildings by Natural Ventilation*. USA: Department of Defense.
- Winkelmann. 2001. Modeling Windows in Energyplus. In: *Proceedings of Seventh International IBPSA Conference*. Rio de Janeiro.